www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

14e JAARGANG No. 8-9, blz. 225-268 AUGUSTUS-SEPTEMBER 1952

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

DE LINEAIRE ELECTRONENVERSNELLER

door D. W. FRY *).

621.384.622.2

Het werk dat thans op het gebied van de kernphysica wordt verricht is goeddeels afhankelijk van de middelen waarover men beschikt voor het opwekken van bundels van zeer energierijke deeltjes. De ontwikkeling van de techniek op dit gebied is enerzijds gericht op steeds grotere deeltjesenergieën, anderzijds op steeds grotere bundelstroomsterkten: grote energieën zijn van belang als men nieuwe typen kernreacties of tot dusverre onbekende elementaire deeltjes wil ontdekken, sterke stromen zijn onmisbaar voor bepaalde onderzoekingen waarbij men met nogal zwakke wisselwerkingseffecten te maken heeft, zoals bijv. de verstrooiing van neutronen.

De productie van electronen met zeer grote energie, van de orde van verscheidene millioenen volt, is ook op een ander terrein van groot belang, nl. dat der geneeskunde. De zeer doordringende röntgenstralen die door een trefplaat onder beschieting met zulke electronen worden uitgestraald, leveren in het menselijk lichaam dosisverdelingen op die uit physisch oogpunt veel gunstiger voor een therapeutische behandeling moeten zijn dan wat men met de gebruikelijke 200 of 400 kV-röntgenstraling kan bereiken. Wederom komt het daarbij ten zeerste aan op grote röntgenintensiteiten en dus op een grote stroomsterkte van de electronenbundel.

Een zeer geschikte methode om in de behoefte aan sterke electronenbundels van verscheidene millioenen volt energie te voorzien, heeft men gevonden in de lineaire electronenversneller. Over dit onderwerp zal in de eerstvolgende jaren een reeks artikelen in dit tijdschrift verschijnen. De redactie is de heer D. W. Fry zeer verplicht voor zijn welwillende toestemming het hierna volgende artikel als eerste van de beoogde serie te publiceren. De heer Fry, een der meest vooraanstaande deskundigen op dit gebied en tegenwoordig hoofd van de afdeling Algemene Physica van het Engelse Atomic Energy Research Establishment, heeft indertijd de leiding gehad van de groep onderzoekers die de eerste lineaire electronenversneller van het lopende-golftype hebben gebouwd.

*Dit artikel is een enigszins bewerkte en verkorte versie van een lezing, gehouden in Februari 1951 **) te Delft op een Symposium over Versnellers; het geeft een beknopt overzicht van de grondslagen van de lineaire electronenversneller. Latere artikelen van de reeks zullen o.a. de versnellers voor 4 en 15 MeV behandelen die onder leiding van Dr. Bareford door het Mullard Laboratorium te Salfords (Engeland) zijn geconstrueerd, in nauwe samenwerking met de werkgroepen van de heer Fry in Harwell en Malvern (Engeland).*

Inleiding

Sinds Cockcroft en Walton [1]) er in slaagden de lithiumkern te splitsen door deze te bombarderen met α-deeltjes, die in een cascadegenerator tot 800 keV werden versneld, zijn vele methodes voor het versnellen van deeltjes tot grote energieën voorgesteld. Bij sommige, zoals de resonantietransformator, de electrostatische generator en de cascadegenerator, komt de gehele versnellende spanning tussen een geïsoleerde electrode en aarde te staan. Hoewel deze toestellen bij geschikte constructie uiterst nuttige eigenschappen kunnen bezitten, zoals grote bundelintensiteiten en, bij de electrostatische en de cascadegenerator, een zeer smal energiespectrum, stuit men op onoverkomelijke constructiemoeilijkheden zodra men poogt met dergelijke installaties energieën van meer dan enkele millioenen volt te bereiken.

*) Atomic Energy Research Establishment te Harwell, Engeland.

) De volledige lezing is verschenen in De Ingenieur **64, O.51, 1952 (No. 14).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Om de moeilijkheid van de isolatie voor hoge spanningen te omzeilen, heeft men verschillende andere methodes bedacht, die alle op de een of andere manier gebruik maken van de herhaalde werking van velden van vrij lage spanning op het te versnellen deeltje. Een grote groep vormen de versnellers zoals het cyclotron, het betatron, het synchrotron en het synchrocyclotron, waarbij de deeltjes onder invloed van magnetische en oscillerende electrische velden op cirkelvormige banen worden versneld; zij werken met frequenties tot enige tientallen MHz. Bij een andere groep worden de deeltjes, hetzij door continue hetzij door intermitterende werking van velden met uiterst hoge frequentie in een rechte lijn versneld. Dit laatste principe werd in 1928 met succes door Wideröe [2]) toegepast om kaliumionen met behulp van een spanning van niet meer dan 25 kV te versnellen tot 50 kV. Enige jaren later gelukte het Sloan met E. O. Lawrence [3]) en later met Coates [4]) volgens hetzelfde principe kwikionen te versnellen tot respectievelijk 1,26 en 2,85 MeV. Beams in samenwerking met Snoddy [5]) en later met Trotter [6]) versnelde eveneens deeltjes in een rechte lijn, evenwel volgens een andere techniek dan Sloan c.s. Volgens hun methode werden een aantal langs één lijn geplaatste electrodes verbonden met bepaalde punten van een transmissielijn, waarover spanningstoten werden gestuurd. Protonen en electronen werden aldus tot energieën van enige millioenen volt versneld.

Het succes dat het cyclotron boekte voor de versnelling van zware deeltjes en het betatron voor electronen, nam de ontwikkeling van de lineaire versneller de wind uit de zeilen, zodat deze tot ongeveer 1945 bleef rusten. Dit is tevens daaraan toe te schrijven, dat men toen nog niet in staat was microgolven van groot vermogen op te wekken. Deze zijn onmisbaar, wil men bij het ontwerpen van een lineaire versneller niet in practisch onuitvoerbare afmetingen vervallen. Omstreeks 1945 nu was grote vooruitgang gemaakt in de ontwikkeling van pulserend werkende oscillatoren voor zeer hoge frequentie, als gevolg van het belang van zulke oscillatoren voor radar en dergelijke. Men kon nu in het frequentiegebied van 150-3000 MHz impulsen van verscheidene microseconden met een impulsvermogen tot 2 MW produceren, bij herhalingsfrequenties tot 500 impulsen per seconde. Deze grote vermogens alsmede de tevens ontwikkelde nieuwe techniek om microgolven te geleiden, openden de mogelijkheid een lineaire versneller te ontwerpen die in technisch en economisch opzicht de vergelijking met andere methodes tot het versnellen van deeltjes goed kon doorstaan. Met toepassing van deze grote vermogens en de nieuwe microgolftechniek werd in verschillende laboratoria de constructie van lineaire versnellers met microgolven ter hand genomen.

Principe van de lopende-golfversneller

Het uitgangspunt van alle vormen van lineaire versnellers is, dat men electrische velden tracht op te wekken met een component in de richting van de as waarlangs men de deeltjes wil versnellen en met zodanige fazen dat de energie der deeltjes gestadig toeneemt. Dit zal men bereiken indien men de fazesnelheid van een lopende electromagnetische golf die een electrische veldcomponent in de richting van de golfvoortplanting bezit, op geschikte wijze kan beïnvloeden.

Aan de hand van *fig. 1* kan men inzien dat op deze wijze een versnelling mogelijk is. De figuur geeft op een willekeurig moment het verloop van de axiale electrische veldsterkte (met topwaarde E) van een golf die zich van links naar rechts voortplant. Een geladen deeltje in B (of D) ondervindt op het beschouwde ogenblik het versnellende veld E_m. Indien het deeltje op dat ogenblik naar rechts

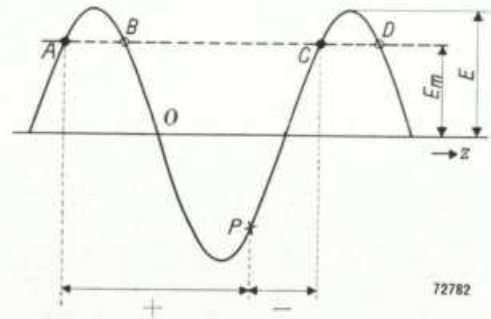


Fig. 1. Aangenomen wordt dat in de z-richting een golf loopt die in deze richting een electrische veldsterktecomponent heeft, waarvan de ogenblikswaarden hier zijn uitgezet. Verder, dat de fazesnelheid van de golf zodanig in de z-richting toeneemt dat een deeltje ter plaatse B (of D enz.) in een constant versnellend veld blijft (E_m). Deeltjes in B of D zijn in stabiel evenwicht, in A of C in instabiel evenwicht. Deeltjes in het gebied tussen A en P (+) worden om B gebundeld, deeltjes tussen P en C (−) komen niet in de pas en gaan verloren.

beweegt met een snelheid die veel kleiner (of groter) is dan die van de golf, zal zijn positie ten opzichte van de aangegeven veldverdeling voortdurend veranderen, de kracht waaraan het onderworpen is zal snel wisselen tussen versnellend en vertragend, zodat de gemiddelde kracht die door de golf op het deeltje wordt uitgeoefend nul is. Indien echter de snelheid van het deeltje op het beschouwde ogenblik gelijk is aan de fazesnelheid van de golf, zal het deeltje zijn positie in de golf behouden en zal het onder invloed staan van het constante versnel-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lende veld $E_m = E \sin \Theta_s$, dat door de gestippelde horizontale lijn wordt voorgesteld; Θ_s is de faze van het deeltje ten opzichte van het punt O (veld nul) in fig. 1. Daar de snelheid van het deeltje ten gevolge van de versnellende kracht zal toenemen, kan het zijn positie in de golf alleen behouden indien gezorgd wordt dat de fazesnelheid van de golf eveneens en in dezelfde mate toeneemt. De energie die een deeltje met lading e heeft gewonnen nadat het een afstand z in het constante versnellende veld E_m heeft afgelegd, is $ezE \sin \Theta_s$. Indien wij de totale energie (rust- en kinetische energie) van het deeltje met ϵ aanduiden en de rustmassa met m_0, wordt zijn snelheid v_p gegeven door de relativistische formule:

$$\epsilon = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_p}{c}\right)^2}} = ezE \sin \Theta_s + \text{const.} \qquad (1)$$

(c is de lichtsnelheid). Deze betrekking levert dus het vereiste verloop van de fazesnelheid $v = v_p$ van de golf als functie van de afstand z langs de as.

Indien hieraan voldaan is, zullen deeltjes die van B (of D) gaan afwijken, in een veld komen dat òf te veel òf te weinig versnelling levert, zodanig dat zij naar B worden teruggedreven. De deeltjes zullen rondom dit punt oscilleren; in B zijn zij, wat de faze betreft, in stabiel evenwicht. Analoog geldt voor deeltjes in A (of C) dat deze in instabiel evenwicht verkeren. Berekeningen over de beweging van deeltjes die op deze wijze in een golf zijn gevangen, hebben aangetoond dat zowel bij kleine als bij relativistische snelheden de amplitude van de faze-oscillaties met toenemende energie afneemt en dat over het algemeen de faze-oscillaties een veel lagere frequentie hebben dan de golf, terwijl zij in het relativistische gebied vrijwel verdwijnen. Indien deeltjes continu in de golf worden geïnjecteerd met een snelheid die dicht bij haar begin-fazesnelheid ligt, zullen alleen de deeltjes in het gebied van A tot bijv. P in de pas met de golf komen en rondom B gebundeld worden. De deeltjes die starten met een te grote aanvankelijke afwijking vóór de stabiele faze, namelijk tussen P en C, zullen terugvallen tot voorbij A en verloren raken.

De faze Θ_s van de positie van stabiel evenwicht en derhalve het gemiddelde versnellende veld dat werkt op de deeltjes die om deze positie oscilleren, kan door een geschikte keuze van de plaatselijke variatie van de fazesnelheid van de golf worden beïnvloed. Naarmate het gemiddelde versnellende veld toeneemt, schrompelt het vanggebied ineen, en het verdwijnt wanneer dit veld gelijk is aan de topveldsterkte E. In het beginstuk van een versneller moet de positie van stabiel evenwicht bij voorkeur een flink eind vóór de top van de golf liggen, teneinde een groot aantal deeltjes te vangen. Nadat het vangen en bundelen heeft plaats gevonden, kan de evenwichtspositie — wederom door wijziging van de fazesnelheid van de golf — dichter naar de top van de golf worden verschoven, teneinde een sterkere versnelling te verkrijgen.

In deze beschrijving is geen rekening gehouden met een eventuele radiale beweging van het deeltje. Verschillende onderzoekers [7) 9)] hebben door toepassing van Maxwells electromagnetische veldvergelijkingen op een axiaal symmetrische lopende golf aangetoond dat in het algemeen behalve een axiale kracht wel degelijk ook radiale krachten op de deeltjes werken. In het gebied waar fazestabiliteit bestaat, werkt de resulterende radiale kracht defocusserend. Eerst als de deeltjessnelheid de lichtsnelheid nadert, wordt de defocusserende werking gering, doordat de radiale focusserende kracht die te danken is aan de circulaire component van het magnetische veld dan bijna gelijk wordt aan de defocusserende kracht van de radiale component van het electrische veld. Gelukkig kan de radiale stabiliteit voor het gehele versnellingstraject eenvoudig worden hersteld door toepassing van een paraxiaal magnetisch veld met een veldsterkte $\sim 1/\sqrt{V}$, als V de kinetische energie van het deeltje is.

De geplooide golfpijp (Engels: corrugated waveguide)

Om deeltjes op de beschreven manier te versnellen, moet, zoals we hebben gezien, een lopende golf worden opgewekt met een longitudinale electrische veldcomponent, waarvan de fazesnelheid gelijk is aan de deeltjessnelheid en dus kleiner dan de lichtsnelheid.

In 1945 was er geen methode bekend om een geleide golf met deze specifieke eigenschappen op te wekken. Wel kende men in het microgolfgebied geleide golven met een longitudinale electrische veldcomponent en een fazesnelheid groter dan de lichtsnelheid. Zulke golven treden op als een van de vele mogelijke golfvormen in een golfpijp.

Voor het geval van een rechthoekige golfpijp is gemakkelijk in te zien dat inderdaad lopende golven met andere electrische en magnetische velden kunnen bestaan dan die in een Lechersysteem, waarbij de electrische en magnetische veldcomponenten loodrecht op elkaar en op de voortplantingsrichting staan. De rechthoekige golfpijp kunnen wij opgebouwd denken uit twee strippen AB van een Lechersysteem, waarop aan weerszijden in continue opeenvolging kortgesloten stukjes Lecherleiding parallel zijn aangesloten (*fig. 2a*). Een aldus door kort-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gesloten Lecherleidinkjes geshunt Lechersysteem heeft als vervangschema de schakeling van fig. 2*b*; wij mogen dit opvatten als een hoog doorlatend filter met als grensfrequentie de resonantiefrequentie van de parallelgeschakelde kringen, d.i. die frequentie waarbij de lengte der shunt-Lechersystemen $\lambda/4$ is.

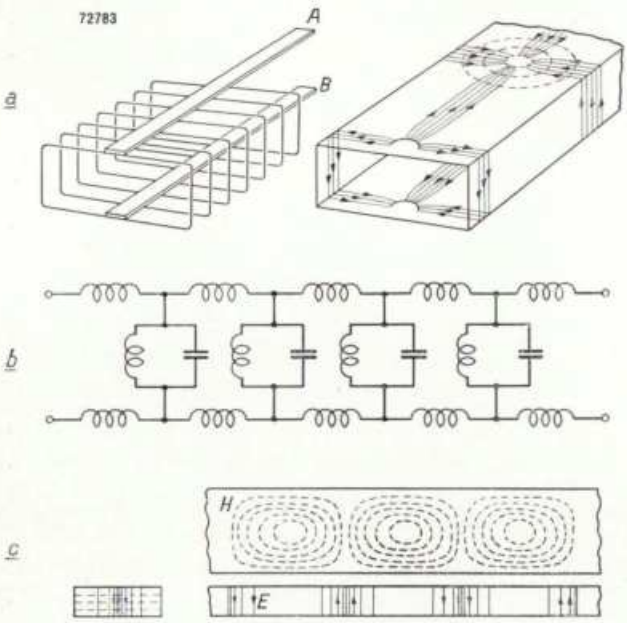


Fig. 2. *a*) Een rechthoekige golfpijp waarin zich een H_{01}-golf voortplant (waarbij in de wanden stromen vlocien zoals in de rechtse figuur aangegeven) kan men opvatten als een Lechersysteem van twee strippen *A*, *B* waarop aan weerskanten een continue reeks kortgesloten Lecherleidinkjes parallel is aangesloten.
b) Vervangschema van dit Lechersysteem.
c) Verloop van het electrische veld *E* (getrokken lijnen) en het magnetische veld *H* (gestippelde lijnen) in de rechthoekige golfpijp (*a*). Het electrische veld heeft geen component in de richting van de golfvoortplanting.

Liggen deze shunts zeer dicht bij elkaar, dan vormen zij tezamen in wezen een rechthoekige pijp, en de stromen die in de Lecherdraden *A*,*B* lopen corresponderen met de stromen in de brede wanden van een rechthoekige golfpijp. Deze longitudinale stromen dalen aan de randen van de wanden tot nul en er vlocien geen longitudinale stromen in de smalle wanden. De stromen die in de shunt-Lechersystemen lopen, corresponderen met de transversale stromen die in de smalle wanden worden opgewekt wanneer een H_{01}-golf zich door de rechthoekige pijp voortplant *). De verdeling van de electrische en magnetische velden die in de pijp ontstaan doordat deze stromen in de wanden lopen, zien wij in fig. 2*c*. De electrische veldcomponent (getrokken lijnen) staat loodrecht op de brede wanden van de pijp en op de voortplantingsrichting van de golf, terwijl er zowel longitudinale als transversale magnetische veldcomponenten zijn (stippellijnen).

Deze golfvorm is voor de versnelling van deeltjes onbruikbaar, daar er geen axiale electrische veldcomponent is. Er bestaan echter andere golven, de *E*-golven, die wèl bruikbaar zijn. Stratton [10]) toont bijv. aan dat zich in een pijp met gladde wanden en ronde doorsnede electromagnetische golven kunnen voortplanten met een veldverdeling die schematisch is weergegeven in *fig. 3a*. Noodzakelijk hiervoor is dat hun trillingsfrequentie (in Hz) groter is dan 0,38 c/b, waarin c de lichtsnelheid in cm/sec is en b de pijpdiameter in cm. Dit is de grensfrequentie van de pijp, die zich gedraagt als een hoog doorlatend filter. Men kan aantonen dat de fazesnelheid van deze golven, in een cylindrische pijp met gladde wanden, groter is dan de lichtsnelheid. Om de golven geschikt te maken voor het versnellen van deeltjes, moet een middel worden gevonden om hun fazesnelheid te beïnvloeden, en wel te verminderen, zodat deze kleiner in plaats van groter dan c wordt. Men heeft verschillende methodes hiertoe voorgesteld. De methode die men heeft gekozen in het A.E.R.E. Laboratorium en in het Laboratorium voor microgolven van de Stanford Universiteit, maakt gebruik van metalen diafragma's. Schematisch is dit in fig. 3*b* getekend. De diafragma's vormen als het ware diepe plooien (Engels: corrugations) aan de binnenzijde van de wand van de cylindrische pijp. Indien de plooien dicht bij elkaar staan, kunnen de tussenruimten worden beschouwd als cylindrische platte trilholten **). Is de diepte der plooien niet te groot (minder dan een kwart golf), dan vormen de bedoelde trilholten een inductieve belasting in de wand van de pijp en men kan verwachten dat, evenals bij een inductief belaste transmissielijn, de voortplantingsnelheid van de golven die door de pijp lopen verminderd zal zijn.

Cutler [11]) bestudeerde als eerste de vergelijkingen die het veld in zulk een systeem beheersen. Voor het geval van dunne plooien, aangebracht op afstanden klein ten opzichte van de golflengte, gelukte het hem oplossingen te vinden waarmee reeds vele vragen konden worden beantwoord. Deze oplossingen bevestigden, dat golfvoortplanting in een dergelijk systeem kon plaats vinden en dat door een geschikte variatie van de diepte der plooien de fazesnelheid v_p voor een gegeven

*) De lezer zij verwezen naar de artikelen van W. Opechowski, Philips techn. T. **10**, 13-25 en 46-54, 1948, waar de golven in pijpen van verschillende doorsnede wat uitvoeriger worden behandeld. *Red.*

) Zie het artikel speciaal aan deze trilholten gewijd, in Philips techn. T. **8, 149-160, 1946. *Red.*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

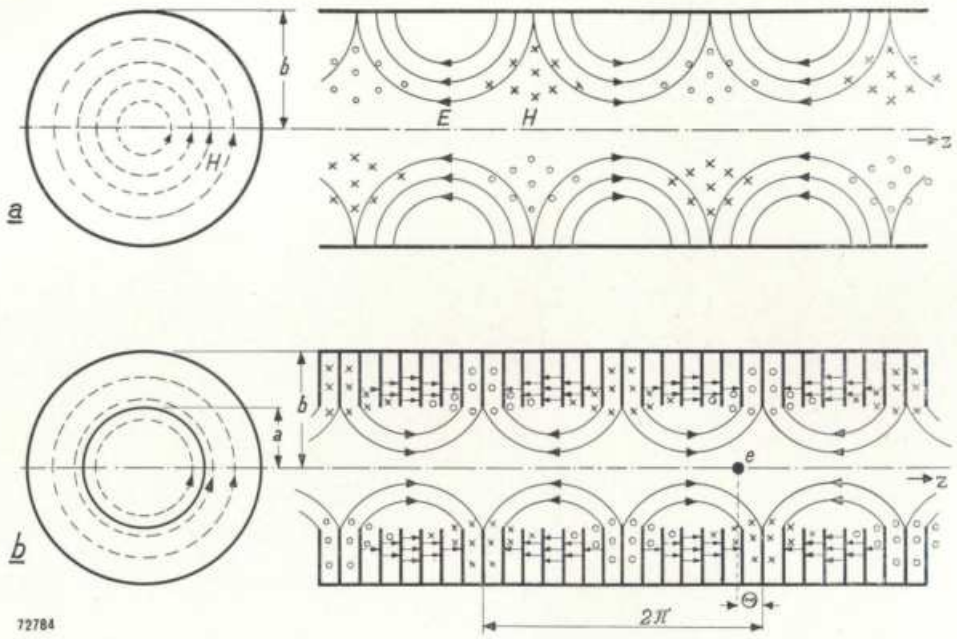


Fig. 3. *a*) Veldverdeling van een E_{01}-golf in een ronde golfpijp met diameter *b*. Getrokken lijnen *E*: electrisch veld. De krachtlijnen van het magnetische veld *H* zijn cirkels om de as. *b*) Veldverdeling van E_{01}-golf in een geplooide ronde golfpijp. *e* = positie van een deeltje dat versneld wordt.

frequentie gelijk aan, of kleiner dan, de lichtsnelheid kon worden gemaakt; binnen zekere grenzen moest het mogelijk zijn op ieder punt van de pijp een voorgeschreven waarde van v_p te verkrijgen. De oplossingen toonden verder aan dat de velden enkele zeer speciale eigenschappen bezitten wanneer $v_p = c$. Met name is dan het versnellende veld over het open gedeelte van de pijp homogeen en in Giorgieenheden wordt het op iedere doorsnede gegeven door

$$E = (480\ W)^{\frac{1}{2}}\ (\lambda/\pi a^2); \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

W is hierin het vermogen dat door de doorsnede stroomt, a de binnendiameter van de diafragma's en λ de golflengte. Bij eenzelfde ingangsvermogen is het versnellende veld omgekeerd evenredig met het kwadraat van de binnendiameter, en naarmate de binnendiameter kleiner wordt, gaan de velden binnen de plooien meer en meer gelijken op die in een trilholte die volgens een E_{010} trillingswijze trilt.

Bij de voortplanting door de pijp wordt de golf gedempt door koperverliezen in de vlakke wanden van de plooien. Het aantal diafragma's moet derhalve zo klein mogelijk worden gemaakt, d.i. zo klein als te verenigen valt met een behoorlijke werking van de pijp voor het versnellen van deeltjes. Walkinshaw [12]) heeft aangetoond dat met een lopende-golfversneller het beste resultaat wordt verkregen indien er 3 tot 4 plooien per golflengte zijn. Indien het aantal groter is, is het koperverlies onnodig hoog, indien het kleiner is, dwz. indien de ruimte tussen de diafragma's groter wordt, vermindert het versnellende veld bij een gegeven doorstromend vermogen. Deze vermindering is daaraan te wijten dat het veld tussen de diafragma's minder homogeen wordt, zodat hogere harmonischen van de golf worden opgewekt. Deze eisen een gedeelte van het vermogen op, dat dan niet meer beschikbaar is voor versnelling.

Met twee diafragma's per golflengte in de pijp is een versneller van het lopende-golftype niet meer mogelijk. De diafragma's staan dan op een afstand van een halve golflengte en de trilholte van elke plooi is in resonantie met de frequentie van het aan de pijp toegevoerde hoogfrequente vermogen. In plaats van een veldverdeling volgens een lopende golf krijgt men een staande golf in de pijp, en de pijp ontaardt in een serie resonatoren met een onderling fazeverschil van 180°. Dit is de π-trillingswijze, die dikwijls in magnetrons wordt gebruikt. Wanneer het systeem aldus in resonantie is, is het niet meer mogelijk er vermogen doorheen te sturen.

Toch kan een dergelijk resonerend systeem waarin een veldverdeling volgens een staande golf is opgewekt, eveneens als lineaire versneller fungeren, want men kan de staande golf opvatten als een superpositie van twee lopende golven die zich in tegengestelde richtingen voortplanten. Deeltjes die in een dergelijk veld worden geïnjecteerd met een snelheid gelijk aan die van één der beide deelgolven, zullen soortgelijke krachten ondervinden als deeltjes in een lopende-golfversneller, want het tijdsgemiddelde van de krachten die de tegengestelde golf op de deeltjes uitoefent, is nul. Men heeft beweerd [7]) dat de staande-golfmethode een belangrijk technisch voordeel boven de lopende-golfmethode bezit, niettegenstaande de verspilling van vermogen in de tegengestelde golf. Dit voordeel zou daarin bestaan dat de pijp in dit geval als

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

frequentie-stabiliserende trilholte kan fungeren voor de hoogfrequentie-oscillator die haar voedt. Het is evenwel nog nooit experimenteel gebleken dat dit werkelijk een belangrijk voordeel is.

Toepassing van de geplooide golfpijp voor een lopende-golfversneller

Er zijn reeds verschillende artikelen over de eigenschappen van geplooide golfpijpen voor lopende-golfversnellers gepubliceerd [8] [9] [13]. Hierin is, voor het geval van een fazesnelheid gelijk aan c, theoretisch afgeleid, welke axiale velden men in deeltje aan het eind van de pijp wordt gegeven door de integraal van E over de pijplengte (zie formule 1). Harvie [9] heeft een grafiek geconstrueerd die het geïntegreerde veld (de deeltjesenergie) voor een reeks golfpijpen met verschillende binnendiameter aangeeft; hij ging daarbij uit van een topvermogen van 2 MW, een golflengte van 10 cm, en 10 plooien per golflengte. In *fig. 4a* is deze grafiek weergegeven. De onafhankelijke parameter is de binnendiameter, uitgedrukt door a/λ, waarin λ de golflengte van de toegevoerde hoogfrequente

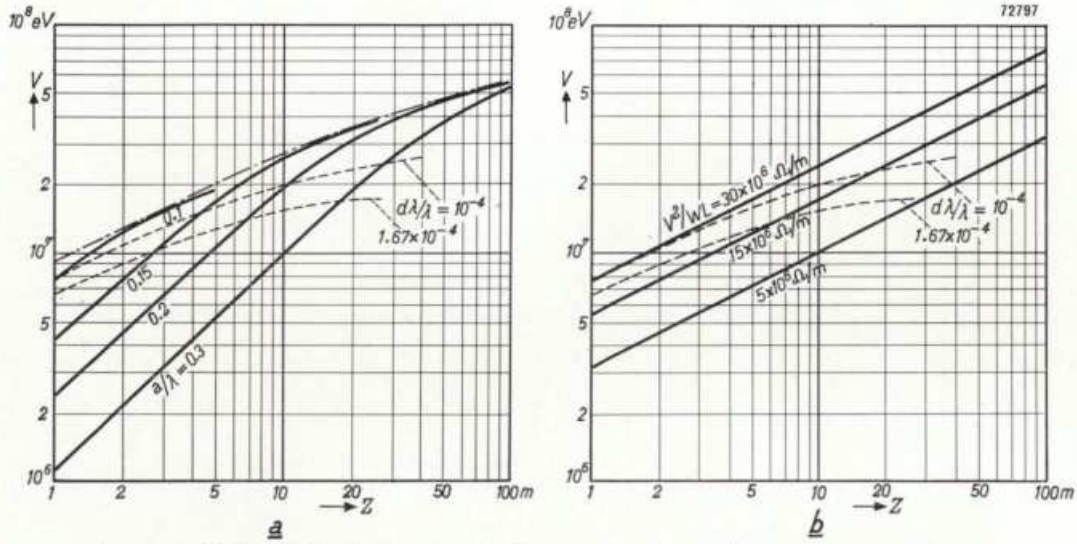


Fig. 4. *a*) Maximale deeltjesenergie V die in een geplooide golfpijp van een gegeven lengte Z kan worden bereikt, voor verschillende binnendiameters a van de diafragma's. De krommen zijn berekend voor een pijp met 10 diafragma's per golflengte, een fazesnelheid $v_p = c$ (de stabiele positie van de deeltjes — electronen — is bij de top van de golf aangenomen, $\Theta_s = 90°$), golflengte $\lambda = 10$ cm, ingangsvermogen $2\cdot10^6$ W. Het ombuigen van de krommen is een gevolg van de demping van de golf bij de voortplanting in de pijp. Het snijpunt van elke getrokken lijn met een van de gestippelde $d\lambda/\lambda$-lijnen geeft de pijplengte Z aan waarbij in geval van een frequentiestabiliteit $d\lambda/\lambda$ de fazefout de aangenomen limiet van 36° bereikt.
b) Krommen van constante „efficientie" (V^2/WL = const., zie hieronder), tezamen met de in (*a*) reeds getekende krommen van constante frequentietolerantie ($d\lambda/\lambda$ = const.). Bij een gegeven frequentiestabiliteit kan een hoge efficientie worden verkregen door een kleine lengte $Z = L$ en een kleine waarde a/λ te kiezen.

metalen geplooide golfpijpen met verschillende diafragma-openingen kan verkrijgen, rekening houdende met een demping van het vermogen in de pijp. In werkelijkheid worden deeltjes in de golfpijp geïnjecteerd met een snelheid veel kleiner dan c: voor electronen wordt een aanvangsnelheid van ongeveer 0,4 c gekozen, doch reeds na een heel korte „rit" op de golf worden snelheden die zeer dicht bij c liggen bereikt; verdere versnelling veroorzaakt vrijwel alleen een toeneming in massa van het electron (bij 2 MeV energie is de electronensnelheid reeds ongeveer 0,98 c).

Als gevolg van de demping van het vermogen neemt het versnellende veld E langs de pijp af volgens formule (2). De totale energie van een trilling in de open ruimte is. De omhullende van de krommenschaar (streep-stiplijn) geeft de energie aan die maximaal (dwz. indien de deeltjes de rit zouden volbrengen met een $\Theta_s = 90°$) kan worden bereikt als functie van de lengte van de golfpijp. Bij elke lengte behoort dan een bepaalde waarde van a/λ. Het ombuigen van alle a/λ-krommen, waardoor de bereikbare energie wordt beperkt, is geheel het gevolg van demping. Veelal zal echter de maximale in een versneller bereikbare energie door andere, ernstiger oorzaken worden beperkt, nl. door frequentievariaties, door temperatuurschommelingen en ook doordat bij de vervaardiging van de golfpijp kleine afwijkingen van de berekende afmetingen optreden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Hoe belangrijk de frequentiestabiliteit van de hoogfrequentiebron is, ziet men aan de gestippelde krommen in fig. 4*a*. Zij geven aan welke energie men met een pijp van gegeven a/λ hoogstens verkrijgen kan, wanneer men aanneemt dat de maximale toelaatbare fazefout van de deeltjes in de golf $2\pi/10$ radialen is. In een ideale versneller zouden de golf en de deeltjes over de gehele lengte van de versneller in de pas blijven, ongeacht de frequentie. In een geplooide golfpijp is dit niet het geval, aangezien de energie die de plooien opnemen zeer sterk van de frequentie afhangt. De pijp krijgt daardoor het karakter van een sterk dispergerend medium. Indien de golfpijp zo ontworpen is dat zij de juiste fazesnelheid heeft bij een bepaalde frequentie, dan zullen de te versnellen deeltjes bij elke andere frequentie niet meer in de juiste faze ten opzichte van de golf blijven. Men ziet in de figuur dat relatieve frequentievariaties van enkele malen 10^{-4}, d.i. ongeveer de beste stabiliteit die men in de practijk kan verkrijgen, ernstige beperkingen aan de bruikbare pijplengte opleggen.

Een dergelijk effect kan men verwachten als gevolg van temperatuurschommelingen van de golfpijp. De uitzettingscoëfficient van koper is ongeveer $1{,}65 \cdot 10^{-5}$, een verandering van 1 °C in pijptemperatuur (waardoor de diameter b verandert) correspondeert derhalve met een $d\lambda/\lambda = 1{,}65 \cdot 10^{-5}$; een temperatuurverandering van 10 °C is equivalent met een $d\lambda/\lambda = 1{,}65 \cdot 10^{-4}$. De invloed van temperatuurschommelingen is echter gemakkelijker tegen te gaan dan die van frequentieveranderingen, daar zij langzamer verlopen en gecompenseerd kunnen worden door kleine wijzigingen van de werkfrequentie.

Uit de gegeven cijfers blijkt wel, dat bij de vervaardiging de berekende afmetingen van de golfpijp zeer nauwkeurig moeten worden aangehouden. Voor lange versnellers worden de eisen zelfs zwaarder dan men redelijk vervullen kan. Gelukkig is het mogelijk een lange golfpijp te construeren uit een aantal secties, die met elkaar verbonden worden door korte secties waarmee men een fazecorrectie bewerkstelligen kan. Men heeft in de practijk gevonden dat een pijp van 2 meter lengte met $a/\lambda = 0{,}2$ en 10 plooien per golflengte zodanig kan worden geconstrueerd dat de fazefout, d.i. de afwijking van Θ_s van de theoretische waarde, binnen ongeveer 18° blijft. Dit schijnt voor een golfpijp met zulk een binnendiameter ongeveer de juiste sectielengte te zijn.

Men ziet in fig. 4*a* dat met afnemende binnendiameter, bij gegeven ingangsvermogen, de versnelling per lengte-eenheid snel toeneemt en de maximale bruikbare lengte afneemt. Wil men deeltjes tot een bepaalde energie versnellen, dan moet men zich afvragen of een lange golfpijp met grote binnendiameter dan wel een kortere pijp met kleinere binnendiameter dient te worden gebruikt.

Voor deze beslissing is het nuttig de „relatieve efficientie" van de golfpijp te beschouwen, die gedefinieerd wordt als het quotient:

$$\frac{(\text{deeltjesenergie})^2}{\text{top-ingangsvermogen} \times \text{pijplengte}} = \frac{V^2}{WL} \frac{\text{Megohm}}{\text{meter}}.$$

Hierbij is V gemeten in MeV, W in megawatt en L in meter.

Daar dit quotient een functie is zowel van her vermogen als van de lengte, is het een maat voot de economie van het apparaat. Tevens is deze verhouding vrijwel hetzelfde als de effectieve serieimpedantie van een lengte-eenheid van de versneller; zij kan derhalve gebezigd worden om snel de eigenschappen van een versneller voor grote energie te overzien, nl. door deze te beschouwen als te zijn opgebouwd uit een aantal deelversnellers. Men kan ook krommen van constante efficientie tezamen met de krommen van constante frequentietolerantie in een grafiek tekenen; dit is geschied in fig. 4*b*. De krommen van constante efficientie zijn evenwijdige rechte lijnen, waarbij de efficientie evenredig is met het kwadraat van de ordinaat die de lijn op de ordinaatas afsnijdt. Deze lijnen worden op dezelfde wijze door de frequentietolerantiekrommen gesneden als de a/λ-krommen in fig. 4*a*. Uit fig. 4*a* en 4*b* ziet men dat voor een hoge efficientie kleine a/λ's en kleine lengten aangewezen zijn.

Constructie van de golfpijp

De eigenschappen van de golfpijpen die in het A.E.R.E. werden geconstrueerd, zijn uitvoerig onderzocht door Mullett en Loach [14]), die ook de voedingsmethodes voor deze pijpen hebben beschreven. *Fig. 5a* is een foto van een sectie van 40 cm lengte, met een $a/\lambda = 0{,}2$ en 10 plooien per golflengte, terwijl fig. 5*b* de constructie laat zien. Ieder lid werd van zeer zuiver koper gedraaid: door middel van flenzen vinden opeenvolgende leden automatisch hun juiste positie. Aan de buitenkant van de pijp werden spleten van 0,25 mm tussen de leden open gelaten; door deze spleten later met zacht soldeer te vullen, werd enige mechanische sterkte verkregen, maar de gewenste goede geleiding van plooi tot plooi werd bewerkstelligd door de leden met een behoorlijke druk aan elkaar te voegen. De gemeten demping van aldus vervaardigde golfpijpen was ongeveer tweemaal de theoretische waarde voor zuiver koper.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Pijpen die later werden gemaakt voor een 10 MeV versneller, werden met zilver gesoldeerd. Deze waren mechanisch veel sterker dan de golfpijpen van het A.E.R.E. en het koperverlies was slechts ca. 25% groter dan de theoretische waarde.

Het theoretisch gevonden verband tussen energie wordt aangeduid, is ontwikkeld door Mullett. Zij is schematisch in *fig.* 7 getekend. De dimensionnering is zuiver empirisch, doch deze toevoer is veel compacter dan de eerstgenoemde en de aanpassing bij de golfpijp gaat hierbij bijzonder gemakkelijk.

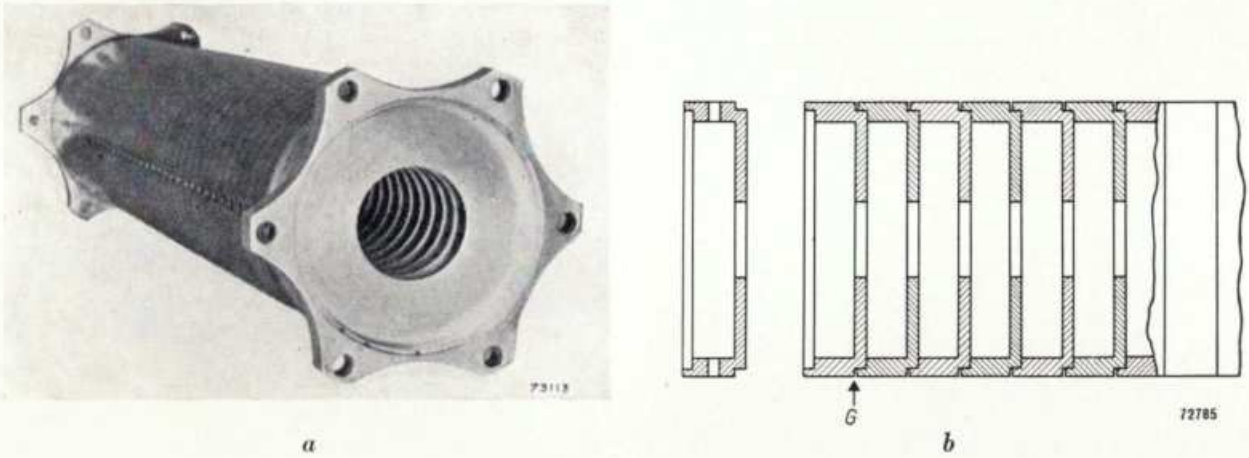


Fig. 5. *a*) Een 40 cm lang gedeelte van een ronde geplooide golfpijp, vervaardigd in het A.E.R.E.
b) Constructie van de pijp afgebeeld in (*a*). Links één der gedraaide leden, rechts verscheidene gemonteerde leden. De leden, die precies in elkaar passen, worden op elkaar geklemd en de 0,25 mm wijde spleten *G* worden met zacht soldeer opgevuld.

zijds de fazesnelheid en anderzijds de verschillende golfpijpparameters, zoals de inwendige diameter, de diepte van de plooien, het aantal plooien per lengte-eenheid enz., werd getoetst door een aantal pijpen te maken waarin deze parameters verschillende geschikt gekozen waarden hadden. De fazesnelheid v_p in elke pijp werd als functie van de frequentie gemeten door de pijp aan één einde kort te sluiten, er hoogfrequent vermogen aan toe te voeren en de veldverdeling van de staande golf te bepalen, waarbij geldt $v_p = c\lambda_{pijp}/\lambda_{lucht}$. Het resultaat van zulk een meting, waarbij λ_{pijp} als functie van λ_{lucht} wordt bepaald, is in *fig.* 6 uitgezet. Hierin is tevens aangegeven wat men volgens de benaderende theorie zou verwachten, alsook volgens een meer verfijnde theorie van Walkinshaw [8]), die rekening houdt met de veldverdeling aan het open einde van de plooien.

Om zowel het hoogfrequente vermogen als de te versnellen deeltjes aan de cylindrische geplooide golfpijp toe te voeren, heeft men twee methodes ontwikkeld. De eerste gebruikte een coaxiale kabel met verlopende doorsnede, van zodanige afmetingen dat de impedanties voor de magnetische veldcomponent in de kabel en in de eerste holte van de geplooide golfpijp bij elkaar waren aangepast. De tweede methode, die wel als „deurknop-toevoer"

In het bovenstaande hebben wij de grondslagen van de lopende-golfversneller besproken en het daarbij steeds gehad over „deeltjes" in het algemeen. Nu wij een bepaalde, uitgevoerde, machine van dit

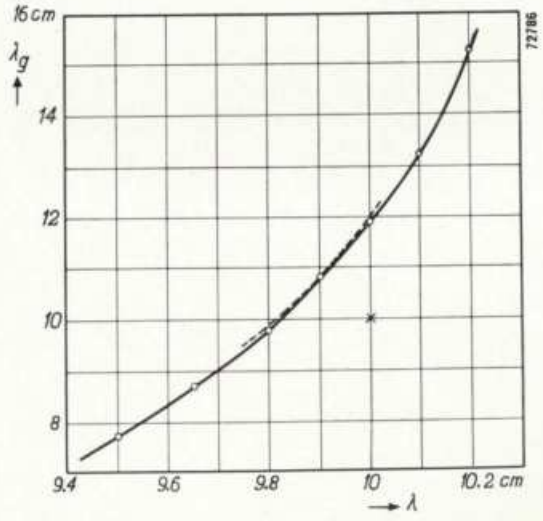


Fig. 6. Golflengte λ_g in geplooide ronde pijpen als functie van de frequentie (golflengte λ in de vrije ruimte). De stippen geven de waarden aan die gemeten zijn voor pijpen met $a/\lambda = 0{,}2$, tussenruimte tussen de plooien = 2 cm, en zodanige buitendiameter b dat volgens de elementaire theorie $\lambda_g = 10$ cm zou moeten worden verkregen indien $\lambda = 10$ cm (×). De gestippelde lijn is met een meer verfijnde theorie berekend door Walkinshaw [8]).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

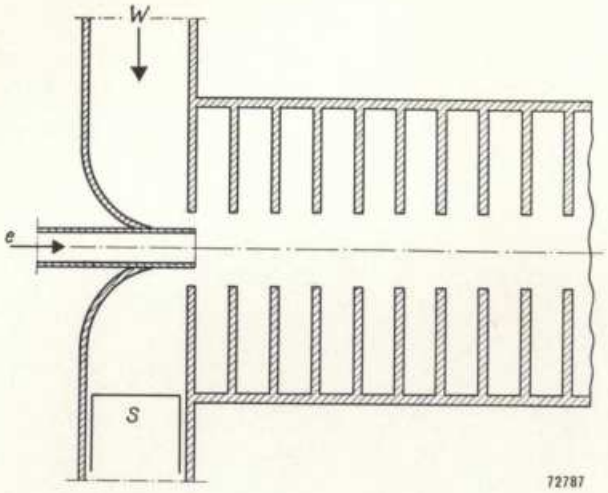


Fig. 7. „Deurknop"-voeding voor de geplooide golfpijp. Het hoogfrequente vermogen W wordt door een rechthoekige golfpijp van 7,5 × 3,75 cm² doorsnede toegevoerd, terwijl het tegenovergelegen stukje rechthoekige golfpijp, dat met de instelbare zuiger S afgesloten is, een exacte aanpassing der impedanties mogelijk maakt. De deeltjes (electronen) worden van e uit geïnjecteerd.

type gaan beschrijven, dient er op te worden gewezen, dat toepassing van deze versnellingsmethode voor zware deeltjes op grote practische moeilijkheden stuit, zodat wij in het overige deel van dit artikel alleen over de versnelling van electronen zullen spreken.

De 3,5 MeV electronenversneller van het A.E.R.E.

De voornaamste bijzonderheden van deze versneller zijn indertijd beschreven door Fry c.s. [15]). In *fig. 8* is de bouw schematisch weergegeven. De versneller is ontworpen voor een ingangsvermogen van 2 MW (topwaarde), dat in impulsen van 2 μsec wordt verkregen van een magnetron. Het vermogen wordt door een rechthoekige golfpijp met doorsnede 7,5 × 3,75 cm² en via een „deurknop" aan een geplooide golfpijp van 2 meter lengte toegevoerd. Het niet gebruikte vermogen dat het einde van de geplooide pijp bereikt, komt via een tweede „deurknop" weer in een rechthoekige golfpijp en wordt

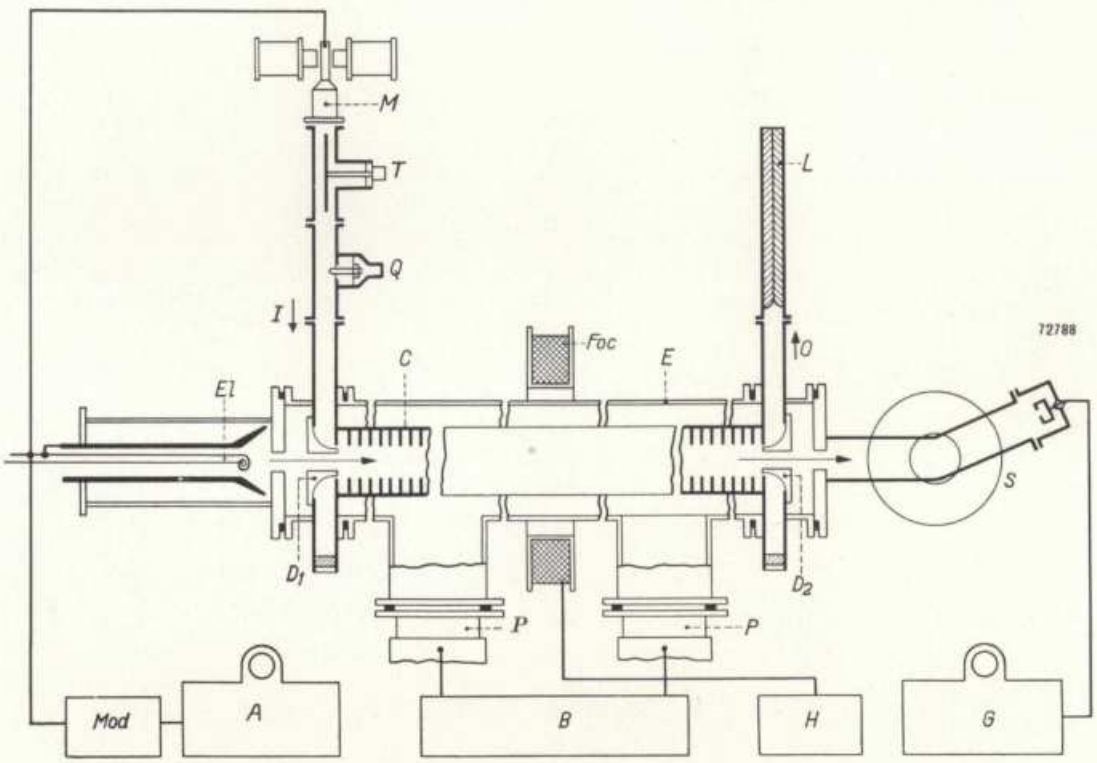


Fig. 8. De opbouw van de lineaire electronenversneller voor 3,5 MeV, gebouwd in het A.E.R.E. C geleidelijk nauwer wordende geplooide golfpijp in vacuummantel E, El electronenkanon, I toevoer van het hoogfrequente vermogen, D_1 „deurknop"-voeding, D_2 „deurknop"-uitgang, O afvoer van hoogfrequent vermogen, L stalen belastingsweerstand die het restant van het golfvermogen absorbeert; M magnetron met modulator Mod; T en Q verlenglijn en sonde voor het instellen van de magnetronfrequentie; A synchronisatie, contrôle van impulssturing, vergrendeling, afstandsbediening; Foc een van de 15 focusseerspoelen, H regeling van de focusseerstroom; P oliediffusiepompen, B roterende voorpomp, contrôle-inrichting voor de gasdruk en automatische regeling; S electronenspectrometer met afbuigspoelen en Faraday-kooi, G inrichting voor bediening van de spectrometer en voor zichtbaarmaking van het spectrum.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in een belastingsweerstand geabsorbeerd. De versnellingsbuis is in een geëvacueerd omhulsel gemonteerd. Om dit omhulsel zijn focusseerspoelen aangebracht die het constante axiale magnetische veld leveren om de defocusserende radiale krachten on-

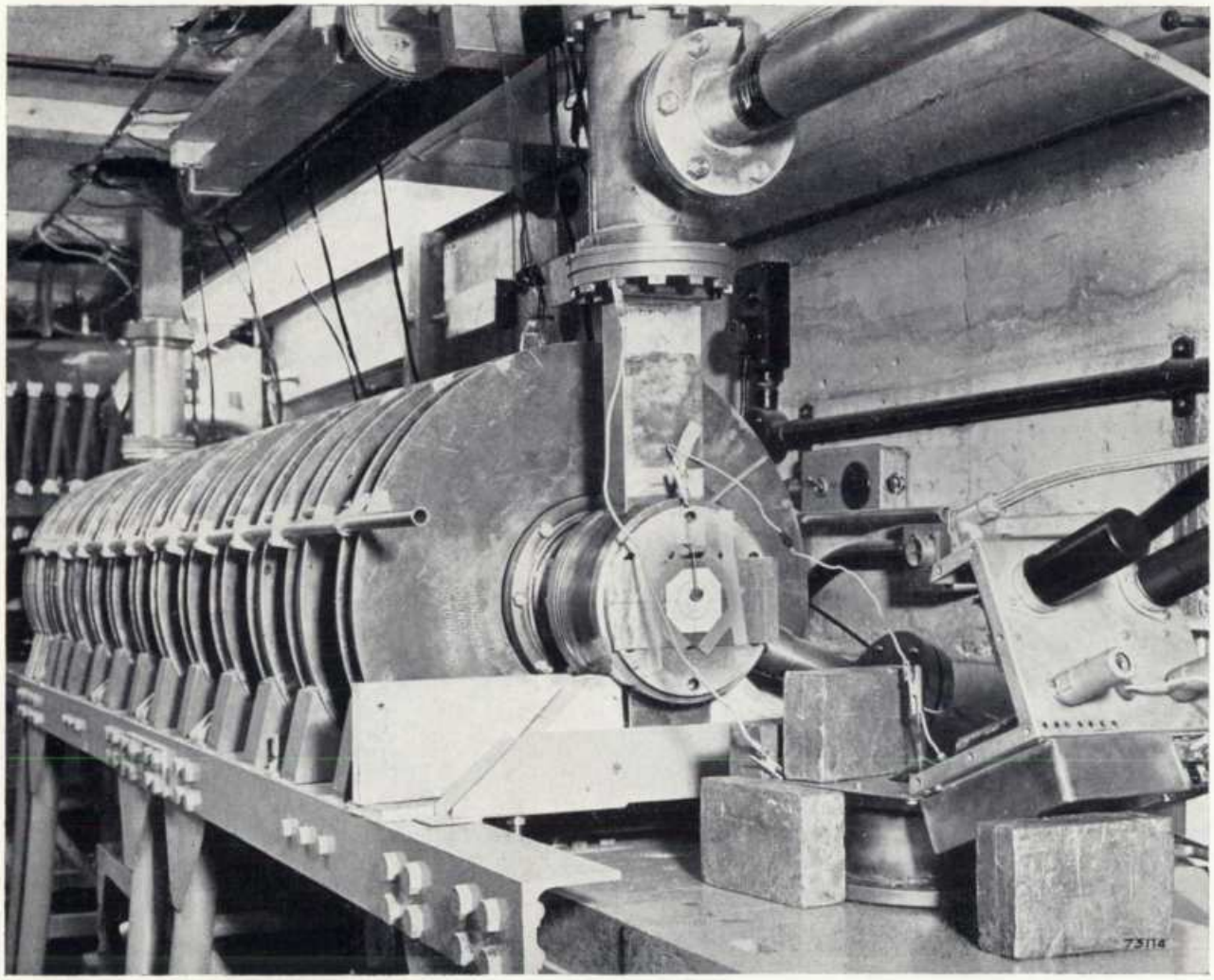


Fig. 9. Foto van de uitgang van de 3,5 MeV-electronenversneller.

schadelijk te maken die volgens het bovenstaande op de electronenbundel werken. De electronen worden geïnjecteerd door middel van een diodekanon volgens Pierce *), dat door de modulator die ook het magnetron stuurt impulsgewijze een anodespanning van 45 kV krijgt. Bij het injecteren hebben de electronen een snelheid van $0{,}4c$, hetgeen ook de aanvankelijke fazesnelheid van de golf is. Doordat het eerste gedeelte van de geplooide golfpijp geleidelijk iets nauwer wordt, wordt de fazesnelheid van de golf bij de toenemende snelheid van de electronen aangepast. De evenwichtspositie voor de versnelde electronen is aanvankelijk 45° achter de plaats met veld nul, maar in de eerste 40 centimeter van de pijp wordt deze positie door een geschikt verloop van de pijpdiameter 10° opgeschoven, dus tot 55°. Hierdoor heeft men een sterker versnellend veld, nadat de electronen goed gebundeld zijn. De resterende gasdruk, die gemeten wordt met behulp van ionisatiemanometers boven de pompaansluitingen aan de vacuummantel, bedraagt onder normale voorwaarden $2 \cdot 10^{-5}$ mm Hg. De electronen die aan het einde van de geplooide pijp arriveren, laat men op een loden trefplaat vallen, waardoor hun energie wordt omgezet in röntgenstralen. *Fig. 9* geeft een foto van dit einde van de versneller.

De beschreven golfpijp werd ontworpen voor geen (of zeer kleine) belasting door de electronenbundel. Voert men een bundel te versnellen electronen aan de pijp toe, dan neemt de effectieve demping in de

*) Zie bijv. Philips techn. T. **13**, 188, 1951 (No. 7). *Red.*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geplooide golfpijp toe, daar nu een merkbare energie aan de electronen wordt overgedragen. Derhalve daalt met toenemende bundelbelasting overal (behalve aan de ingang) het doorstromende hoogfrequente vermogen en bij gevolg het veld. Dit effect wordt gedeeltelijk gecompenseerd doordat de electronen wanneer zij rondom de fazestabiele positie worden gebundeld dichter bij de top van de golf komen te lopen, dwz. in een gebied van grotere veldsterkte, maar in het grootste gedeelte van de versneller blijft de faze der electronen ten opzichte van de golf constant, en er resulteert derhalve een daling van de bereikte electronenenergie met toenemende gloeistroom (of emissiestroom) van het kanon.

Er werden indertijd reeds voorlopige gegevens over de eindenergie, de bundelstroomsterkte enz. als functie van de gloeistroom gepubliceerd; latere en betrouwbaarder krommen, die met een verbeterde meettechniek werden verkregen, zijn in *fig. 10* weergegeven. Voor een trillingsfrequentie van 2997,6 MHz, een ingangsvermogen van 2,1 MW (topwaarde) en een herhalingsfrequentie van 50 impulsen per seconde geven de krommen de electronenenergie, de gemiddelde bundelintensiteit, het gemiddelde vermogen in de bundel, en de intensiteit der röntgenstralen in röntgen/min gemeten op een afstand van 1 meter van de trefplaat. Onder de vermelde voorwaarden was het gemiddelde hoogfrequente ingangsvermogen van de versneller 210 watt en het grootste gemiddelde vermogen dat in de bundel werd gemeten 76 watt, d.i. een rendement van 30%, bij een bundelenergie van 2,6 MeV. De grootste gemiddelde stroomsterkte die gemeten werd, was 20 μA, hetgeen bij een nuttige werkfractie (duty cycle) van 1 : 10 000 beantwoordt aan een gemiddelde stroomsterkte in de impuls van 300 mA. Normaal werkt de machine met een energie van 3,25 MeV, een gemiddelde stroomsterkte van 10 μA en een stralenopbrengst van 31 röntgen/min op 1 meter, bij 50 impulsen per seconde, hoewel de herhalingsfrequentie dikwijls tot 250 impulsen per seconde wordt opgevoerd. Indien de versneller en de voeding goed zijn ingesteld, vertoont het energiespectrum aan weerszijden van de gemiddelde energie een gelijkmatige daling, met een halfwaardebreedte van ongeveer 5%.

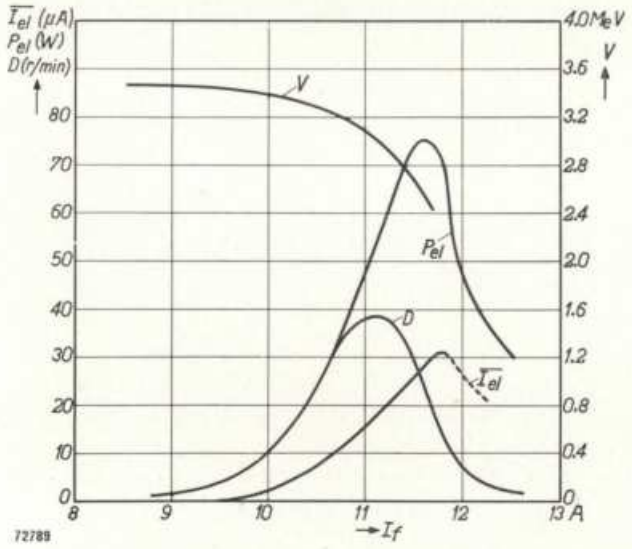


Fig. 10. Karakteristieken van de 3,5 MeV-electronenversneller. I_f gloeistroom van het kanon, V energie van de electronen, I_{el} gemiddelde bundelstroom, P_{el} bundelvermogen (gedissipeerd in trefplaat), D doseringsterkte van de röntgenstraling in röntgen/min op 1 meter afstand van de loden trefplaat. Deze karakteristieken zijn gemeten onder de volgende voorwaarden: frequentie 2997,6 MHz, ingangsvermogen 2,1 MW topwaarde, impulsduur 2 μsec, herhalingsfrequentie 50 impulsen per seconde (gemiddeld toegevoerd hoogfrequent vermogen 210 W).

Lineaire versnellers met terugkoppeling

De bespreking van fig. 4 kunnen we kort samenvatten in de constatering dat de meest „efficiente" geplooide golfpijpen een kleine a/λ hebben en dat een pijp met gegeven binnendiameter haar maximale efficientie heeft wanneer zij zó lang is dat het grootste gedeelte van het hoogfrequente vermogen dat niet aan de electronenbundel wordt afgegeven in de wanden wordt gedissipeerd, terwijl slechts een klein gedeelte aan de andere kant er weer uitkomt om in de belastingsweerstand te worden opgenomen. Deze twee voorwaarden zijn tevens die welke een zeer grote frequentiestabiliteit van de hoogfrequentiebron eisen, als men zeker wil zijn dat de deeltjes langs de gehele pijplengte nauwkeurig genoeg in de juiste faze blijven. De ontwerper van een lineaire versneller van het beschreven type staat dus voor de keuze of hij een korte, efficiente, versneller wil bouwen, waarbij de instelling zeer nauw luistert, of een langere die minder efficient is en dienovereenkomstig minder moeilijk in te stellen. Dit probleem is met name belangrijk wanneer wordt overwogen de lineaire versneller toe te passen voor medische doeleinden. Bij een dergelijke toepassing moet enerzijds de bundelintensiteit zeer groot zijn, opdat de behandelingstijden kort kunnen worden gehouden, zelfs als men zware filters en nauwe begrenzers voor de röntgenstralenbundel gebruikt, terwijl aan de andere kant het instrument in een zodanige vorm moet worden geconstrueerd dat men de bundel gemakkelijk op de juiste wijze op de patient richten kan; om deze laatste reden zou een lange en zware versneller zeer ongewenst zijn.

Harvie en Mullett[16]) hebben een methode uitgewerkt om de efficientie van geplooide golf-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

pijpen die kort zijn in vergelijking met de dempingslengte te verbeteren en zodoende het beschreven dilemma te vermijden. Deze methode berust op een terugkoppeling, die in *fig. 11* schematisch is weergegeven. De richtingen van de stroom van hoogfrequent vermogen zijn door pijlen aangeduid; ver-

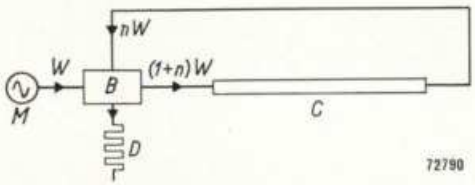


Fig. 11. Schema van keten met hoogfrequentieterugkoppeling. *C* geplooide golfpijp, *B* brugschakeling, *M* magnetron met uitgangsvermogen *W*, *D* absorberende belasting (deze is alleen noodzakelijk gedurende het begin van iedere impuls, zolang het golfvermogen in de pijp nog wordt opgebouwd).

mogen van de uitgang van de versneller wordt teruggevoerd naar een soort brugschakeling, waar het wordt samengevoegd met het vermogen dat van het magnetron binnenkomt. Men ziet dat dan het vermogen aan het begin van de geplooide golfpijp (gewoonlijk het circulerende vermogen genoemd) groter is dan het vermogen dat uit het magnetron binnenkomt. Het belangrijke nieuwe element in dit systeem is de hoogfrequentiebrug, die twee speciale eigenschappen moet bezitten. De brug moet zodanig gebouwd zijn dat het gehele vermogen in de goede richting door de brug stroomt, en de ingangsimpedantie zoals die door het magnetron wordt gezien moet onafhankelijk zijn van de grootte van het vermogen dat van het einde van de versneller wordt teruggevoerd. Dit is noodzakelijk, want de ingangsimpedantie moet niet veranderen terwijl het vermogen in het systeem wordt opgebouwd (d.i. in het beginstadium van elke impuls). In het microgolfgebied heeft men zich wel reeds uitvoerig beziggehouden met een speciaal geval van zulk een brug, nl. waarbij (in de stationnaire toestand) het vermogen dat uit de terugkoppelingsarm binnenstroomt gelijk is aan het vermogen dat uit de hoogfrequentiebron binnenkomt; zulke bruggen zijn bekend onder de namen „Magic Tee" en „Rat Race" [17]). Berekeningen over de efficientie V^2/WL van een versneller met terugkoppeling hebben aangetoond dat deze toeneemt indien men, uitgaande van de „optimale lengte", d.i. de lengte voor maximale efficientie zonder terugkoppeling, de versneller korter maakt. *Fig. 12* geeft de relatieve efficientie, uitgedrukt door de lengte van de versneller als fractie van de optimale lengte, voor de gevallen mèt en zonder terugkoppeling, het eerste geval nog onderscheidenlijk mèt en zonder verlies in de terugvoerleiding. Men ziet duidelijk dat men zonder verlies van efficientie versnellers kan bouwen die veel korter zijn dan de lengte die aan volledige uitdemping beantwoordt. Hierdoor kunnen de golfpijpen met grotere dimensionele toleranties worden vervaardigd en kan men met een geringere frequentiestabiliteit van de hoogfrequentiebron volstaan.

Deze vooruitgang van de techniek is inmiddels ook reeds in practijk gebracht. Beide typen lineaire versnellers die thans in Engeland voor medische toepassingen worden ontwikkeld, zijn van een terugkoppeling voorzien. Deze versnellers zijn respectievelijk voor 4 en 10 MeV berekend. Het is de bedoeling een aantal 4 MeV-machines te bouwen, die dan aan de grote medische centra ten gebruike

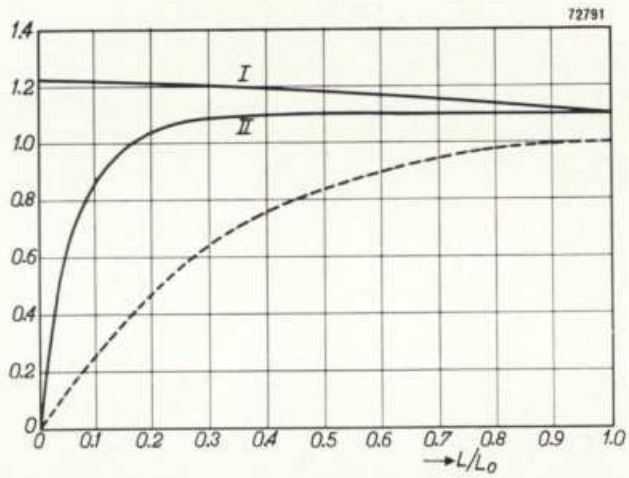


Fig. 12. Efficientie V^2/WL van een versneller mèt terugkoppeling (getrokken lijnen) en zonder terugkoppeling (gestippelde lijn), uitgedrukt door de versnellerlengte L als fractie van de, uit fig. 4 afgeleide, optimale lengte L_0. Kromme *I*: geen verlies in de terugvoerleiding; kromme *II*: verlies in de terugvoerleiding gelijk aan 5% van dat in een geplooide pijp ter engte L_0.

zullen worden gegeven. Van het 10 MeV-type is er pas één in aanbouw. In principe komt de bouw van beide machines overeen met die van het hierboven beschreven apparaat, doch hun constructieve uitvoering en vooral de wijze van opstelling is geheel verschillend.

Tot het werk waarvan in dit artikel een overzicht werd gegeven, hebben R. B. R-S-Harvie, L. B. Mullett en W. Walkinshaw, allen leden van de Lineaire-Versnellergroep van het A.E.R.E., belangrijke bijdragen geleverd. De heer Directeur van het A.E.R.E. zijn wij dank verschuldigd voor zijn toestemming tot publicatie van dit artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Literatuur:

[1]) J. D. Cockcroft en E. T. S. Walton, Proc. Roy. Soc. **A 129,** 477, 1930; **136,** 619, 1932.
[2]) R. Wideröe, Archiv Elektrotech. **21,** 387, 1928.
[3]) D. H. Sloan en E. O. Lawrence, Phys. Rev. **38,** 2021, 1931.
[4]) D. H. Sloan en W. M. Coates, Phys. Rev. **46,** 539, 1934.
[5]) J. W. Beams en L. B. Snoddy, Phys. Rev. **45,** 287, 1934.
[6]) J. W. Beams en H. Trotter, Jr., Phys. Rev. **45,** 849, 1934.
[7]) J. C. Slater, Rev. Mod. Physics **20,** 473, 1948.
[8]) W. Walkinshaw, Proc. Phys. Soc. **61,** 246, 1948.
[9]) R. B. R-S-Harvie, Proc. Phys. Soc. **61,** 255, 1948.
[10]) J. A. Stratton, Electromagnetic Theory, McGraw-Hill, New York 1941.
[11]) C. C. Cutler, Bell Telephone Labs. Report MM-44-160-218, 1944.
[12]) W. Walkinshaw, T. R. E. Report AE 1005, 1947.
[13]) E. L. Ginzton, W. W. Hansen en W. R. Kennedy, Rev. sci. Instr. **19,** 89, 1948.
[14]) L. B. Mullett en B. G. Loach, Proc. Phys. Soc. **61,** 271, 1948.
[15]) D. W. Fry, R. B. R-S-Harvie, L. B. Mullett en W. Walkinshaw, Nature **162,** 859, 1948.
[16]) R. B. R-S-Harvie en L. B. Mullett, Proc. Phys. Soc. **62B,** 270, 1949.
[17]) L. D. Smullin en C. G. Montgomery, Microwave Duplexers, McGraw-Hill, New York 1948.

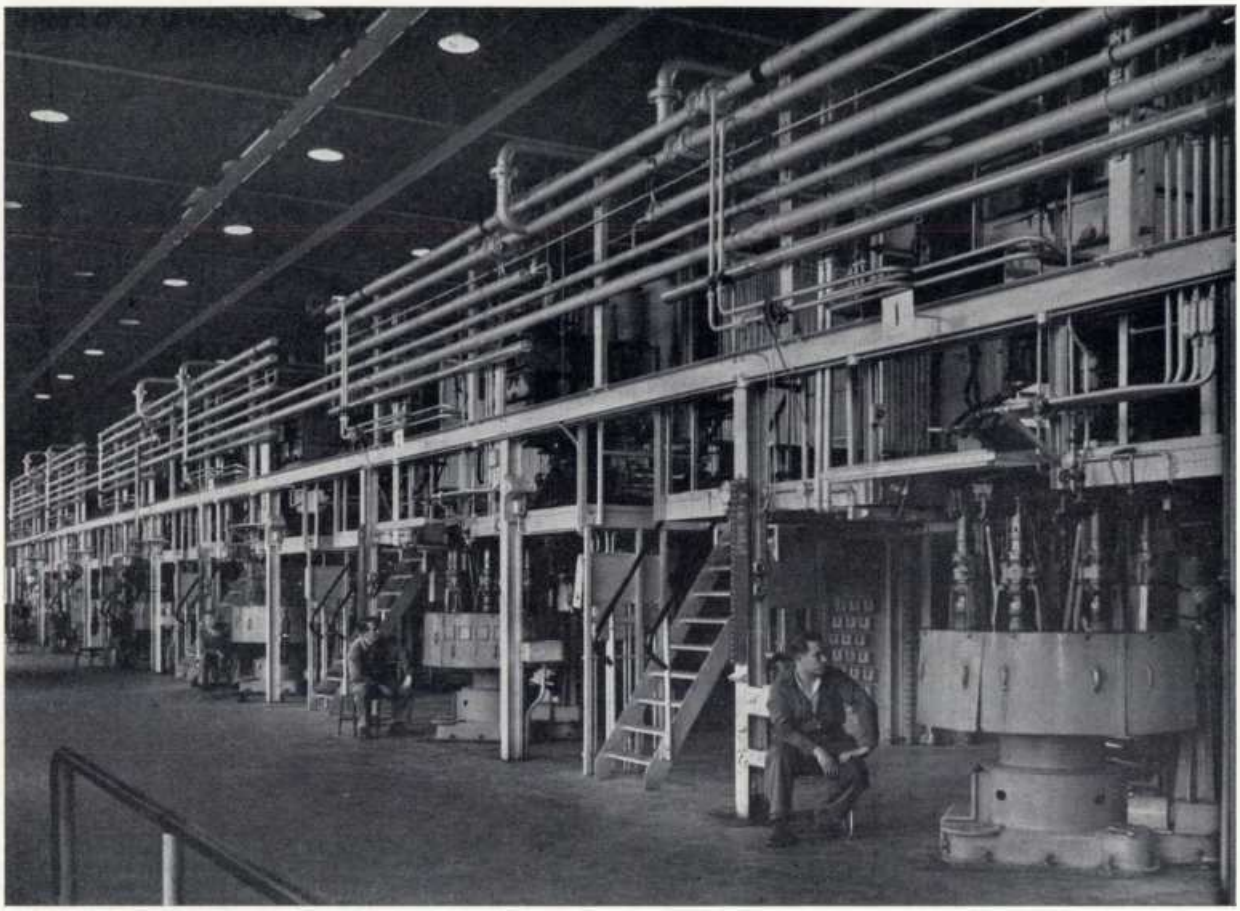
Samenvatting. Worden deeltjes geïnjecteerd in een electromagnetische golf die een electrische veldcomponent heeft in de richting van de golfvoorplanting en waarvan de fazesnelheid gelijk is aan de snelheid van de deeltjes, dan zullen de deeltjes energie van de golf verkrijgen. Electromagnetische golven met deze eigenschappen kan men opwekken in een cylindrische golfpijp met diafragma's (geplooide golfpijp). Door de pijpdiameter geleidelijk te verminderen, kan de fazesnelheid zodanig worden geregeld dat de golven in de pas blijven met de deeltjes die versneld worden. De deeltjes zoeken dan plaatsen van stabiel evenwicht in de golf op en kunnen tot zeer grote energieën worden versneld. De bereikbare energie hangt af van het vermogen van de golf aan de ingang van de pijp, de demping van de golf bij de voortplanting in de pijp, en de verhouding van de binnendiameter van de diafragma's tot de golflengte. Deze methode om deeltjes te versnellen, die reeds voor 1939 bekend was, werd zeer aantrekkelijk toen men over oscillatoren voor microgolven kwam te beschikken die in korte impulsen zeer grote vermogens konden leveren. Hierdoor werd het mogelijk met golfpijpen van heel geschikte afmetingen zeer grote deeltjesenergieën te bereiken.

In dit artikel worden de voorwaarden voor deze versnelling nader beschouwd en enige van de fundamentele eigenschappen van de lineaire versneller met een lopende golf behandeld. De theoretische en practische begrenzingen van de bereikbare energie worden besproken en het begrip „efficientie" ingevoerd. De mogelijkheden van de lineaire versneller worden toegelicht aan de hand van de eigenschappen van een 2 meter lange versneller die thans in het Atomic Energy Research Establishment te Harwell in Engeland in werking is. In dit apparaat worden electronen versneld van 45 keV tot ongeveer 3,5 MeV. Er wordt gewerkt met een golflengte van 10 cm. Het hoogfrequente vermogen wordt verkregen van een magnetron, in 2 microseconden, terwijl de maximale herhalingsfrequentie impulsen van 2 MW topwaarde en een impulsduur van 250 impulsen per seconde is. De stroomsterkte van de bundel versnelde electronen, gemiddeld over een impuls, bedraagt volgens de metingen tot 300 mA. In nieuwe machines, die thans worden gebouwd, wordt het principe van terugkoppeling van het niet gebruikte hoogfrequente vermogen toegepast; dit maakt het mogelijk de electronen in korte pijpen tot grote energieën te versnellen, zonder dat tè zware eisen moeten worden gesteld aan de frequentiestabiliteit.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DE PHILIPS BALLONBLAASMACHINE



Glazen ballons behoren tot het dagelijks in grote hoeveelheden verslonden „voedsel" van gloeilampen- en radiobuizenfabrieken. Oorspronkelijk werden zij, als zovele andere glazen voorwerpen, geblazen door middel van de menselijke adem, en tot voor enige jaren heeft dit aloude procédé zich zelfs weten te handhaven in de massafabricage van gestandaardiseerde lampen- en buizenballons [1]).

Tegenwoordig worden zulke ballons geheel machinaal gefabriceerd. De foto toont een aantal ballonblaasmachines, geplaatst in een hal van de nieuwe Philips Glasfabriek te Eindhoven. Iedere machine heeft haar eigen glasoven, die zich op het bordes bevindt en die van achteren de grondstoffen voor het glas krijgt toegevoerd. In de bodem van het voorste gedeelte van de oven bevindt zich een opening, waaruit het glas omlaag stroomt. Er ontstaat echter geen doorgaande straal, doordat onmiddellijk onder de opening een soort schaar de glasstroom in porties van een bepaald gewicht knipt. Periodiek valt er dus een portie glas, en deze wordt opgevangen in een continu draaiende carrousel, waarvan men er enige op de foto ziet. In de carrousel wordt het glas tot een ballon geblazen, die juist na één omwenteling van de carrousel voltooid is. De ballon wordt dan afgestoten en op een transportband (niet zichtbaar op de foto) door een „koeloven" heen gevoerd om hem spanningsvrij te maken; via een tweede transportband, waarop hij afkoelt, bereikt hij de sorteur, die de ballons op kwaliteit sorteert.

De moeilijkheden bij de ontwikkeling van een dergelijk automatisch procédé lagen in hoofdzaak in het handhaven van een gelijkmatig product, dwz. in het constant houden van het gewicht der glasporties, dat van velerlei factoren afhankelijk is. Dat deze moeilijkheden overwonnen zijn, blijkt wel hieruit, dat de werkzaamheden van de carrouselman zich beperken tot het nu en dan bijstellen van een kraan, het steekproefsgewijs nawegen van een ballon, e.d.

[1]) Zie bijv. Philips techn. T. **6**, 207, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

BEHAAGLIJKE VERLICHTING

door L. C. KALFF. 628.97

Zowel door de probleemstelling als door de wijze van behandeling is dit artikel kenmerkend voor de persoonlijkheid van de schrijver, veel meer dan bij de meeste andere in dit tijdschrift gepubliceerde artikelen het geval is. Ir. Kalff, in vele landen welbekend door zijn prestaties op het gebied van de tentoonstellingsverlichting en dergelijke, heeft in het afgelopen jaar de denkbeelden die in dit artikel worden uiteengezet op verschillende internationale congressen naar voren gebracht. De redactie meent dat deze beschouwingen, die zich op de grens tussen wetenschap en kunst bewegen (en deze grens soms wel overschrijden), zowel de leek als ook de deskundige op lichttechnisch gebied zullen interesseren.

Het probleem van de behaaglijke verlichting

Tot 1910-1920 hadden wij gewoonlijk tamelijk donkere wanden en plafonds in onze huizen. Kunstlicht was schaars vergeleken met thans en kon daarom alleen voor plaatselijke verlichting worden aangewend. Een lamp boven de tafel, een leeslamp, wandarmen bij de open haard konden slechts kleine lichtkringen om zich heen spreiden.

Langzamerhand nam het rendement van de electrische lampen toe. De prijs van de electrische stroom daalde en licht werd goedkoper. In de periode 1915-1925 verschenen de eerste installaties voor algemene verlichting in kantoren en fabrieken, zij het dan nog met verlichtingsniveaus die wij thans veel te laag zouden vinden (40 tot 60 lux). Karakteristiek voor de bedoelde periode is een algemene tendentie om witte plafonds en lichtgekleurde muren en meubilair te gebruiken. Dit gebruik werd niet alleen door de binnenhuisarchitecten gepropageerd, maar het werd tevens ijverig gesteund door de verlichtingskundigen, die dit uit een oogpunt van rendement gewenst achtten. Geleidelijk werd de mode om lichte kleuren in de interieurs toe te passen in Europa en in Amerika hoe langer hoe algemener. Na enige tijd constateerde men evenwel dat installaties met hoog verlichtingsniveau (bijv. 500 lux) in deze lichtgekleurde interieurs geen bevredigende resultaten opleverden. Ward Harrison te Cleveland vestigde in 1937 de aandacht op dit feit in zijn beroemd geworden artikel [1]): „What is wrong with our fifty-footcandle installations?" Het antwoord op deze vraag luidt, dat bij vele installaties met hoog verlichtingsniveau de lichtbronnen een verblinding of een gevoel van onbehagen teweeg brengen, of dat de aandacht wordt afgeleid doordat de helderheden in het gezichtsveld niet goed zijn verdeeld. Een nieuwe gedachte, de „Brightness Engineering", moest nu voor het werk van de verlichtingskundige de richtlijnen aangeven. Deze gedachte werd nog belangrijker, toen de fluorescentielampen met hun grote specifieke lichtopbrengst op het toneel verschenen, hetgeen sinds 1945 een zeer snelle ontwikkeling op het gebied van de verlichtingstechniek en speciaal een nog bredere toepassing van hoge verlichtingsniveaus ten gevolge heeft gehad.

De gedachte van de „Brightness Engineering" had voornamelijk een negatieve strekking: men moest er naar streven onbehagen te vermijden. Wat wij thans te berde willen brengen, behelst een positieve benadering van het probleem. Het is niet voldoende, onbehagen te vermijden, wij moeten trachten door een zorgvuldig ontwerp behaaglijkheid te scheppen [2]). Het zal in dit artikel blijken dat onze taak, aldus gesteld, tot een nauwere samenwerking van de verlichtingsdeskundige met de scheppende kunstenaar, de architect en de binnenhuisarchitect, zal moeten leiden: een terugkeer tot donkerder getinte en kleurige wanden en plafonds zal noodzakelijk zijn, willen wij eenzelfde behaaglijkheid en sfeer verkrijgen als weleer, bij de installaties van laag verlichtingsniveau.

Het zal misschien niet gemakkelijk zijn tot een dergelijke samenwerking te komen. Het streven naar een samenwerking tussen de twee groepen is tot dusverre vrijwel uitsluitend van één zijde uitgegaan. Verlichtingsdeskundigen trachtten de kunstenaar er toe te brengen in zijn ontwerpen ook het element „licht" toe te passen, en daarbij er op te

[1]) W. Harrison, Ill. Eng. **32**, 208, 1937.

[2]) Het woord „behaaglijk" wordt hier, naar analogie van de Engelse gelijkte termen „comfortable lighting", „seeing comfort" enz., in ruimere betekenis gebruikt dan die het gewoonlijk heeft. Ter toelichting zij vermeld dat wij zowel in de onbehaaglijkheid als in de behaaglijkheid van een verlichting een aantal trappen kunnen onderscheiden. In het domein van de behaaglijkheid zouden wij eerst kunnen spreken van het „gemakkelijk of duidelijk zien", dan het „geconcentreerd of aandachtig zien", vervolgens het plezierige", en als hoogste trap ten slotte het „schone".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

letten dat enerzijds een bepaald verlichtingsniveau werd verkregen, anderzijds dat onbehagen door verblinding, schaduwpartijen of spiegelingen werd vermeden. Om verschillende redenen stond de kunstenaar onwillig tegenover deze pogingen. Klaarblijkelijk voelde hij er niet voor, zijn werk, dat als gevolg van de moderne technische en bouwkundige methodes al zeer ingewikkeld is, nog meer te compliceren. Bovendien zijn de methodes en werktuigen van de verlichtingsexpert, hoe nuttig zij ook voor de laatste mogen zijn, voor de scheppende kunstenaar meestal zeer moeilijk te hanteren. Maar de voornaamste reden zal wel hierin te zoeken zijn dat de kunstenaar de hulpmiddelen die de verlichtingsdeskundige hem ten dienste stelt gewogen en te licht bevonden heeft. Immers berekeningen van de helderheid en de helderheidsverhoudingen en ook van de verblinding hebben voor de architect — en eigenlijk voor iedereen — slechts een zeer betrekkelijke waarde, omdat men deze berekeningen pas kan maken nadat het interieur ontworpen is. In het werk van de scheppende kunstenaar kunnen zij de betekenis van een toetssteen hebben, maar zij kunnen hem geen richtsnoer leveren voor zijn ontwerp.

Wij menen dat er maar één methode is om deze toestand te verbeteren: alleen dán zal de kunstenaar het verlichtingsprobleem niet langer als een lastig aanhangsel beschouwen, indien hij het gevoel heeft dat hij het licht op ongeveer dezelfde wijze kan hanteren als hij nu kleuren, vormen en materialen hanteert. Hij zal zich in staat voelen het probleem van het behaaglijk zien op te lossen, zodra de daartoe aan te wenden middelen stroken met zijn verdere activiteit. De verlichtingskundige moet, om de ontwikkeling deze kant uit te sturen, het verlichtingsprobleem op geheel nieuwe wijze leren beschouwen. Hij moet trachten de problemen van de kunstenaar te begrijpen en zich afvragen hoe een verlichtingsysteem in verband met het ontwerp van een interieur door een binnenhuisarchitect het zien behaaglijk kan maken.

Dit is de grondgedachte van de nieuwe wijze van aanpakken van het probleem, die in dit artikel wordt voorgesteld [3]). Wij realiseren ons terdege, als wij deze aanpak van het probleem aan de lezers van dit tijdschrift voorleggen, dat onze wijze van redeneren geenszins strikt wetenschappelijk is. Men moet er bij het betreden van het domein van de kunstenaar nu eenmaal op voorbereid zijn dat in vele gevallen het aanvoelen in de plaats treedt van het weten: vele dingen die hier worden geopperd zijn moeilijk te bewijzen, in de zin waarin men een wiskundige of natuurkundige wet kan bewijzen.

[3]) Zie ook: L. C. Kalff, Conditions for comfortable seeing, lezing gehouden op het C.I.E.-congres te Stockholm 1951, ook gepubliceerd in International Lighting Review, vol. 1951/1952, No. 2, 19-26; Comfortable Lighting, lezing gehouden op de vergadering van de I.E.S. of Great Britain, Eastbourne 1952.

Een stelsel van lijnen, kleuren en helderheden

Wij kunnen de voorwaarden waaraan voor de behaaglijke waarneming van een oogtaak moet worden voldaan in twee groepen ontleden. Ten eerste willen wij de belangrijkste kenmerken van de taak zien, de vorm, de kleur en de afmetingen, en derhalve wensen wij soms schaduwpartijen, felle lichtvlekken of een hoog algemeen verlichtingsniveau, of misschien een speciale kleur licht. In de tweede plaats willen wij de taak echter ook geconcentreerd zien, dwz. wij willen niet afgeleid worden door invloeden uit de omgeving.

Nu bestaat ieder beeld dat wij zien, terwijl wij naar een oogtaak kijken, uit drie elementen: lijnen, kleuren en helderheden, en deze drie elementen kunnen het zien in de zojuist bedoelde zin hetzij steunen hetzij bemoeilijken. Laat ons deze drie elementen afzonderlijk beschouwen.

1) *Lijnen*

De lijnen in het beeld dat wij zien, kunnen rhythmisch en rustig gerangschikt zijn, of zij kunnen verward zijn. Men denke bij voorbeeld aan de aanblik van een woud van hoge beukenbomen, met hun evenwijdige stammen, en men vergelijke daarmee het grillige kris-kras patroon van de takken dat men ziet als men in hetzelfde bos, op zijn rug liggend, omhoog kijkt.

De lijnen in een beeld kunnen op twee manieren onze aandacht op de taak concentreren; zij kunnen op de taak gericht zijn, of zij kunnen concentrisch er omheen gerangschikt zijn. Indien er veel lijnen zijn die niet aldus lopen en die in geen enkele betrekking tot de oogtaak staan, zullen zij niet medewerken om onze aandacht op het waar te nemen object te concentreren.

2) *Kleuren*

De kleuren kunnen in twee groepen worden verdeeld: warme kleuren van geel via oranje naar rood, purper en bruin, en de koele kleuren van geel-groen naar groen, blauw, violet, grijs en zwart.

Warme kleuren schijnen ons het meest aan te trekken. Velen van ons hebben ook het gevoel dat ze dichterbij zijn dan de koude kleuren. Daarom zouden wij de warme kleuren op de oogtaak en de onmiddellijke omgeving daarvan willen concen-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

treren, terwijl wij de koele kleuren meer geschikt vinden voor de buitenste gedeelten of wat men gevoegelijk de achtergrond van het gezichtsveld kan noemen.

In de practijk arrangeren wij de kleuren dikwijls onbewust op deze wijze. Een actrice of een zangeres zal bij haar optreden bij voorkeur in een heldere en warmgekleurde japon tegen een koele achtergrond verschijnen. Men kan zich moeilijk een soliste op het podium voorstellen in een grijze of blauwe japon tegen een helderrood of oranje scherm. Indien wij het belangrijkste punt van een kamer willen versieren door bloemen op de tafel te zetten, verkrijgen wij met blauwe bloemen in een vaas op een rood tafelkleed lang niet hetzelfde effect als met rode, oranje of gele bloemen op een groen tafelkleed.

3) *Helderheden*

Men neemt algemeen aan dat het gedeelte met de grootste helderheid in een beeld de aandacht tot zich trekt. Het is niet moeilijk hier vele voorbeelden van te vinden. Wij plaatsen een kunstenaar in het licht van een schijnwerper, wij dekken de eettafel met een wit kleed, de bruid is gekleed in een witte japon, Napoleon koos een wit paard om in zijn veldslagen te berijden, enz.

Het is dus niet meer dan logisch dat wij, om een geconcentreerde waarneming van de oogtaak te waarborgen, deze taak het helderst in het gezichtsveld maken, de onmiddellijke omgeving minder helder en de achtergrond nog minder.

Indien wij volgens deze richtlijnen een systeem voor de beschouwde drie elementen in het gezichtsveld opbouwen, krijgen wij een beeld waarin lijnen, kleuren en helderheden samenwerken om de aandacht van de waarnemer op de taak geconcentreerd te houden.

Gaan wij er nu toe over dit stelsel in de practijk toe te passen, zo rijst natuurlijk de vraag welk deel van het gezichtsveld beschouwd moet worden als „oogtaak", welk als „onmiddellijke omgeving" en welk als „achtergrond". Het is niet mogelijk deze gedeelten exact af te palen, maar men kan tot een redelijke onderscheiding komen als men let op de bewegingen van het hoofd en de ogen van iemand die naar een voorwerp kijkt. Men heeft gevonden, dat een elliptische kegel met een horizontale tophoek van ongeveer 2 × 10° en een verticale tophoek van ongeveer 2 × 8°, alle voorwerpen omsluit die men met stilstaand hoofd, alleen door beweging van de ogen waarneemt (*fig. 1, a*). Dit is ongeveer de gezichtshoek van een open boek van normale afmetingen op de afstand van duidelijk zien. Dit deel van het gezichtsveld kan men beschouwen als het object waarop wij ons wensen te concentreren, dwz. als de oogtaak. Indien een object van tamelijk grote afmetingen, bijv. een levensgroot schilderij, aan de gemiddelde waarnemer wordt vertoond, ziet men dat hij om een eerste indruk van het beeld te krijgen

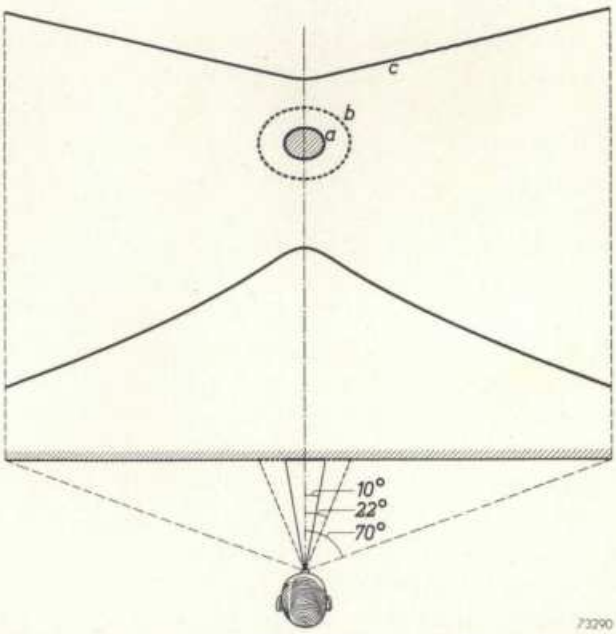


Fig. 1. Delen van het gezichtsveld; *a* omlijnt de oogtaak, *b* de onmiddellijke omgeving van de taak, *c* de achtergrond in het gezichtsveld. In dit laatste gebied kunnen geen kleuren en kleine details worden waargenomen. De eigenaardige begrenzing van het gezichtsveld wordt veroorzaakt door de afscherming door voorhoofd, neus en wangen.

onwillekeurig een beschouwingsafstand kiest die ongeveer 2,5 maal de breedte of ongeveer 3,2 maal de hoogte van het schilderij is. Kijkt hij nu naar een rand van het schilderij, dan ligt dus de tegenovergelegen rand ca 22° resp. 17,5° buiten de kijkrichting. Men kan zeggen dat de aldus bepaalde kegel, met een horizontale tophoek van 2 × 22° en een verticale tophoek van 2×17,5°, de taak mèt haar „onmiddellijke omgeving" insluit (fig. 1, *b*). Dat deze gezichtskegel niet willekeurig is doch bij het zien een reële betekenis heeft, wordt bevestigd door het feit dat deze ruimtehoek ongeveer correspondeert met dàt gedeelte van het netvlies waarin men rood en groen als kleuren kan waarnemen. Buiten dit deel van het netvlies zijn slechts staafjes aanwezig, waarmee wij verschillen in helderheid zien, maar noch kleuren kunnen onderscheiden, noch kleine details kunnen waarnemen. Dit buitenste deel van het gezichtsveld vertegenwoordigt dan wat wij hierboven de „achtergrond" noemden; wij mogen aannemen dat deze voor het behaaglijk zien betrekkelijk weinig belangrijk is (fig. 1, *c*). Wij weten dat grote helderheidscontrasten en snelle bewegingen uit deze hoeken kunnen worden opgemerkt, maar

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dat wij ons hoofd moeten omdraaien om te zien wat nu eigenlijk de oorzaak van de afleiding is.

Hebben wij aldus de taak, de omgeving en de achtergrond ruwweg gedefinieerd, dan komen wij te staan voor nog een ander, moeilijker probleem: terwijl het bij het arrangeren van lijnen en kleuren in hoofdzaak om kwalitatieve verschillen gaat, sluit de verdeling der helderheden noodzakelijkerwijze een kwantitatieve kwestie in. Ons algemene stelsel zegt alleen dat voor het concentreren van de aandacht op de belangrijke punten zekere helderheidsverschillen gewenst zijn. Het ligt voor de hand dat deze verschillen voor het beoogde doel minstens een bepaalde grootte zullen moeten hebben; een witte kamer met wit meubilair en een zeer diffuse verlichting is een omgeving waarin men onmogelijk behaaglijk kan zien. Aan de andere kant moet het helderheidscontrast een bepaalde grens niet overschrijden of er zal onbehagen door verblinding enz. ontstaan. Wat zijn nu de gewenste en wat de maximaal toelaatbare helderheidsverhoudingen? Volgens een algemene regel van de „Brightness Engineering" moet de helderheidsverhouding van voorwerpen die men tegelijkertijd ziet niet groter zijn dan 1 : 3. Deze regel moge wel haar nut hebben, wij zijn er van overtuigd dat in sommige gevallen grotere verhoudingen kunnen worden toegepast zonder afbreuk te doen aan het behaaglijk zien; een goede indruk schijnt voor een groot deel af te hangen van het helderheidsverloop (de gradient). Om een voorstelling te krijgen van wat in dit opzicht behaaglijk te noemen is, hebben wij brillen geconstrueerd met verschillende stellen glazen, waarvan het doorlatingsvermogen dank zij het aanbrengen van licht absorberend materiaal in radiale richting of van rechts naar links continu verloopt. Met deze brillen wordt thans nog geëxperimenteerd.

De practische toepassing van het stelsel

Het fundamentele stelsel voor lijnen, kleuren en helderheden dat boven werd uiteengezet, moet natuurlijk bij de omstandigheden worden aangepast. Laten wij als eerste voorbeeld beschouwen één persoon die achter een bureau zit te werken. Over het algemeen houdt niemand zijn blik gedurende een zeer lange tijd op hetzelfde voorwerp gevestigd. Zelfs iemand die zit te schrijven of te lezen, kijkt nu en dan op en vindt het prettig om zijn blik te richten op andere dingen, die iets verder af gelegen zijn. Deze dingen vormen nu een tweede oogtaak, die om voldoende belangstelling te wekken eveneens een rangschikking van lijnen, kleuren en helderheden als boven aangegeven moet vertonen. Het ontwerp van het interieur moet dus in dit geval berekend zijn op de aanwezigheid van twee centra van de belangstelling (*fig. 2*).

Fig. 2. Interieur van een studeerkamer of kantoor. Iemand die achter een bureau zit te werken kan zijn blik niet gedurende een zeer lange tijd op de oogtaak op het bureau gevestigd houden. Gewoonlijk kijkt hij nu en dan even op om zijn ogen te ontspannen; voor dit doel wordt een tweede centrum van belangstelling verschaft, in dit geval een helder gekleurd en goed verlicht schilderij aan de muur. Het tweede centrum van belangstelling kan ook een uitzicht door een raam zijn, een bos bloemen of iets dergelijks.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Voor ruimten waarin een aantal personen zitten, die verschillende kanten op kijken, zoals in eetzalen, vergaderkamers, enz. moet het stelsel worden gewijzigd in horizontale zones van verschillende helderheid en kleur. In een restaurant bijv. zijn de eettafel en de gezichten van de andere gasten de zones van belang, waarin dus de oogtaken moeten worden gezocht. Boven en beneden deze zones moeten de helderheid en de warmte van de kleuren verminderen. Voor dergelijke ruimten zal het raadzaam zijn o.a. het plafond tamelijk donker te houden, hetzij door er geen licht op te laten vallen of door het een donkere kleur te geven. Indirecte verlichting in een restaurant leidt de aandacht af van de essentiële dingen in de ruimte en is daarom dodelijk voor de sfeer.

Soortgelijke overwegingen gelden voor een conversatiezaal of een ontvangzaal: in dit geval wordt de primaire oogtaak weer in een horizontale zone gevonden, nl. de gezichten der andere gasten; onderbreekt men de conversatie of zit men zo maar eens voor zich uit te kijken, dan heeft men behoefte aan een tweede voorwerp dat de belangstelling kan trekken, en klaarblijkelijk zal deze secundaire oogtaak eveneens een horizontale zone moeten beslaan. De ontvangzaal waarvan *fig. 3* een foto geeft is een prachtig voorbeeld van een ruimte die in overeenstemming met deze denkbeelden is ingericht en verlicht. De tweede zone van belangstelling wordt gevormd door de grote wandschildering; de lambrizering daaronder èn het plafond zijn donker gehouden.

Fig. 3. Ontvangzaal van de Automobielclub van Argentinië te Buenos Aires. De gezichten van de gasten vormen een horizontale zone van belangstelling, terwijl de grote wandschildering een tweede horizontale zone van belangstelling verschaft ter ontspanning. De donkere lambrizering er onder en het donkere plafond er boven werken mede om de concentratie op deze zone van belangstelling te vergroten.

In de kerk zijn wij geneigd omhoog te kijken. Hier kunnen wij spreken van verticale zones; de middelste zone moet de helderste en warmste kleur hebben, terwijl de zones die verder van het midden af liggen langzamerhand donkerder en koeler moeten worden. *Fig. 4* is een foto van een kerk die zeer duidelijk dit systeem van kleur- en helderheidsverdeling vertoont.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wij zouden nog veel meer voorbeelden kunnen geven om onze bedoelingen te illustreren. In de toegepaste interieurkunst van de laatste vijf jaren zijn in Europa reeds interessante gevallen aan te wijzen waarbij de problemen van inrichting en verlichting zijn aangepakt met als uitgangspunt de stelsels van lijnen, kleuren en helderheden die wij in dit artikel hebben beschreven. Wegens de beperkte plaatsruimte kunnen wij slechts twee verdere gevallen noemen. *Fig. 5* is een foto van een etalage, waarin de lijnen alle naar één van de centra van belangstelling wijzen en zodoende aanzienlijk bijdragen tot de blikvangende werking van deze etalage. Dit is natuurlijk geen typisch voorbeeld van het probleem van „behaaglijk zien", maar wel typeert het één aspect van dit probleem, dat wij hierboven hebben geanalyseerd, op frappante wijze, nl. de gemakkelijke „concentratie" van de gedachte van de toeschouwer. Een voorbeeld waarbij een veel

Fig. 4. Interieur van kerk te Venray (Limburg), waarin een verdeling in verticale zones te zien is met de grootste helderheid en de warmste kleuren (wit, rood en goud) in de middelste zone; in de buitenste zone donkere stenen pilaren met zware schaduwen.

Fig. 5. Etalage met verscheidene centra van belangstelling. Deze etalage werkt in hoge mate als blikvanger, dank zij de lijnen die naar het voornaamste centrum van belangstelling wijzen, en dank zij een verdeling van kleur en helderheid conform het stelsel dat in dit artikel is uiteengezet.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

groter complex van problemen tot oplossing moest worden gebracht, wordt door *fig. 6* geïllustreerd. Deze foto toont een gedeelte van het nieuwe warenhuis van Vroom en Dreesmann te Rotterdam. Bij dit project werd niet alleen het verlichtingsysteem op ons schema van lijnen, kleuren en helderheden gebaseerd, maar de hele inrichting, met name de keuze van de kleuren en helderheden van wanden, vloer en plafond, werd grotendeels door dit stelsel bepaald. Het spreekt vanzelf dat in een warenhuis de te verkopen artikelen het meest de aandacht moeten trekken. Om dit doel te bereiken, moet men de vitrines en vakken langs de muren bijzonder helder verlichten; hiertoe dient een plaatselijke verlichting, ondersteund door de lichtbundels van reflectorlampen in het plafond. Deze lampen zijn gemonteerd in lichtroosters, waarachter zich fluorescentielampen bevinden die een algemene verlichting geven. Voor de rest is het plafond volkomen donker: het is nachtblauw geschilderd, en door het contrast met een er onder opgehangen raamwerk van lichtgekleurde, metalen strippen wordt het vrijwel onzichtbaar. Dit soort plafond is gebleken in de practijk uitstekend te voldoen en heeft in de laatste jaren vrij veel navolging gevonden: vele binnenhuisarchitecten in Europa hebben het idee van het „Rotterdamse plafond" overgenomen bij het bouwen van nieuwe of het moderniseren van

Fig. 6. Gedeelte van het warenhuis van Vroom en Dreesmann te Rotterdam. Overal in het gebouw is de koopwaar tot het centrum van belangstelling gemaakt door sterke plaatselijke verlichting. Het plafond is donkerblauw geschilderd. In elk vierkant van het plafond kan een verlichtingsarmatuur ofwel een luidspreker of een klok worden gemonteerd. De algemene verlichting wordt verkregen door groepen van twee fluorescentielampen van 40 W met twee verspiegelde gloeilampen van 68 W die als voorschakelweerstand fungeren; elke groep wordt in twee aan elkaar grenzende vierkanten van het plafond geplaatst (in het hier afgebeelde gedeelte van de ruimte zijn dubbele groepen toegepast). Het plafond zelf, dat boven de heldere metalen strippen ligt, is bijna geheel onzichtbaar: hierdoor werd de architecten een gemakkelijke oplossing geboden om de electrische en andere leidingen van het warenhuis alsmede de kanalen voor de luchtverversing onzichtbaar en toch direct toegankelijk onder te brengen. Dit „Rotterdamse plafond" is sindsdien reeds in een twintigtal Europese warenhuizen overgenomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

oude warenhuizen. Hoe belangrijk het is de aandacht niet door een helder plafond af te leiden, zien wij duidelijk in *fig. 7*, waarin een deel van een warenhuis staat afgebeeld dat volgens dezelfde principes is ingericht als het vorige, maar dat een plafond heeft dat wit geschilderd en vrij helder verlicht is. Het is aan geen twijfel onderhevig dat in dit geval de aandacht van de bezoeker in mindere mate op de goederen in het warenhuis wordt gericht.

Fig. 7. Warenhuis van Vroom en Dreesmann te Haarlem. Het ontwerp van het interieur en het verlichtingsysteem zijn gelijk aan die van het Rotterdamse warenhuis in fig. 6, maar het plafond is licht geschilderd en helder verlicht. Naar onze mening wordt de aandacht hier in aanzienlijk mindere mate op de koopwaar geconcentreerd.

Rechtvaardiging van het schema

Het zou voor de hand liggen ons artikel op dit punt te besluiten. Er is een theorie opgesteld, practische toepassingen van deze theorie zijn beschreven en er is aangetoond dat bevredigende resultaten worden verkregen. Wij moeten evenwel toegeven, dat de theorie niet gebaseerd is op feiten doch veel meer op intuïtie. De kunstenaar behoeft zich hierdoor niet te laten weerhouden — dat heeft hij ook nooit gedaan — de theorie in zijn scheppingen tot leven te brengen. Aan de andere kant hebben verlichtingsdeskundigen over het algemeen een meer wetenschappelijke instelling en zullen zij derhalve dringend behoefte gevoelen aan enige rechtvaardiding van het voorgestelde schema.

Voor dit doel zijn de resultaten van de practische toepassing van de theorie niet genoeg. Immers, deze resultaten hangen nog van vele andere factoren af. Men zal allicht meer directe bewijzen wensen, geleverd door experimenten waarbij de toevallige en onoverzichtelijke invloeden die in de practijk voorkomen grotendeels zijn geëlimineerd. Wij zullen thans enkele pogingen beschrijven om zulk bewijsmateriaal te verschaffen. Hoewel het misschien vreemd lijkt dat men een theorie pas gaat bewijzen nadat men haar reeds op grote schaal heeft toegepast, is dit toch geheel in overeenstemming met de grote rol die de intuïtie bij onze aanpak van het verlichtingsprobleem heeft gespeeld en die wij niet willen verdoezelen.

Sinds onheugelijke tijden is er een groep mensen geweest welker leven grotendeels opgaat in het zien en het voortdurend analyseren van het geziene, en die min of meer bewust van de menselijke reacties op visuele indrukken gebruik maken: wij bedoelen de schilders. Het is buitengewoon interessant en leerzaam een museum door te lopen en na te gaan in hoeverre de tentoongestelde schilderijen beantwoorden aan de principes die wij in dit artikel hebben uiteengezet. Het is ons gebleken dat de meeste schilderijen die door een vrij scheppende kunstenaar zijn vervaardigd en die alleen beogen tot rustige beschouwing te noden (dus niet bijv. bedoeld zijn een geestelijke schok te geven), meer of minder duidelijk ons fundamentele stelsel van kleur, licht en helderheid vertonen. Een voorbeeld vindt men in *fig. 8* [4]).

Dit is nog tot op zekere hoogte een indirecte rechtvaardiging. Wij hebben proeven opgezet om onze denkbeelden ook rechtstreeks te toetsen. In het „Demonstratielaboratorium", dat in Mei 1951 te Eindhoven in gebruik werd genomen, zijn verschillende ruimten hiervoor ingericht. De navolgende illustraties tonen enkele mogelijkheden die dit laboratorium biedt.

In *fig. 9* zien wij een nis, waarin de verschillende schema's voor interieurontwerpen worden getoond. Zij kunnen met verschillende intensiteiten worden verlicht en zijn aangebracht op metalen deurtjes, zodat de verschillende schema's na elkaar kunnen worden bekeken door eenvoudig de panelen als de bladen van een boek om te slaan. Achtereenvolgens worden schema's getoond die wèl en andere die niet met onze theorieën kloppen en de waarnemer wordt gevraagd zijn eventuele voorkeur te kennen te geven.

In *fig. 10* zien wij een gehele kamer waarin het kleuren- en verlichtingschema kan worden veranderd.

[4]) Enkele andere voorbeelden geeft het in noot [3]) aangehaalde artikel in Int. Light. Rev.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 8. De doge Leonardo Loredan, door Giovanni Bellini (omstreeks 1430-1516). Dit beroemde portret vertoont zeer duidelijk een stelsel van lijnen, kleuren en helderheden die de aandacht concentreren op het warm gekleurde gezicht met de contrasterende donkere ogen. De lijnen van de kraag, de hoed en de linten lopen er concentrisch omheen, de lijnen van de schouders en de rij knopen wijzen erheen, en de blauwgroene (oorspronkelijk zuiver blauwe) achtergrond is koel en wijkt terug, terwijl zijn helderheid nabij de lijst snel afneemt. (Gereproduceerd met welwillende toestemming van de Trustees van de National Gallery te Londen.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

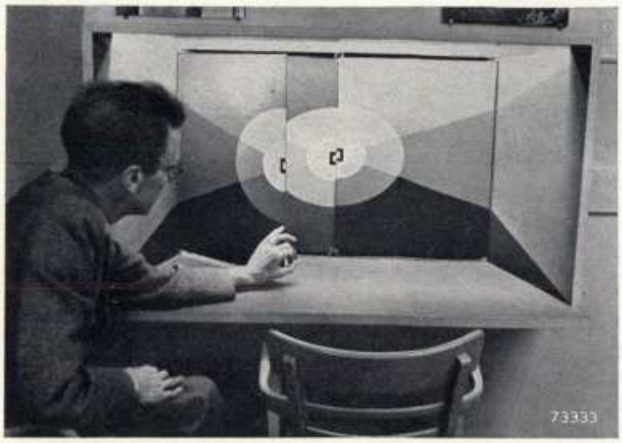


Fig. 9. Nis in het Philips Demonstratielaboratorium te Eindhoven, waar een aantal verschillende lijn-, kleur-, en helderheidstelsels aan de toeschouwer kunnen worden vertoond.

De wanden bestaan uit draaibare panelen en kunnen aldus wit of matgroen worden gemaakt of een iepenhouten betimmering vertonen. De bladen van de tafels kunnen omgedraaid worden en nemen dan de kleur van de iepenhouten of de groene wanden aan. In de kamer zijn verschillende, eveneens omkeerbare, schilderijen opgehangen: de compositie van de kleuren en lijnen op de voorzijde is in overeenstemming met ons schema, de compositie op de achterzijde is er lijnrecht mee in strijd. Door wijziging van het verlichtingsysteem en van de kleuren en oppervlakken van wanden en schilderijen, worden het uiterlijk en de sfeer van deze kamer volkomen veranderd; zo kan men weer nagaan of bepaalde combinaties van kleuren en helderheden de voorkeur van de bezoekers genieten.

Wij kunnen hier niet uitweiden over nog andere experimenteermogelijkheden die het Demonstratielaboratorium biedt. Wij moeten volstaan met op te merken dat tot dusverre reeds vele honderden bezoekers de experimenten hebben ondergaan en door hun wijze van reageren hebben bijgedragen tot ons inzicht in deze materie. Over het algemeen geven de reacties ons reden om te geloven dat wij in de goede richting werken.

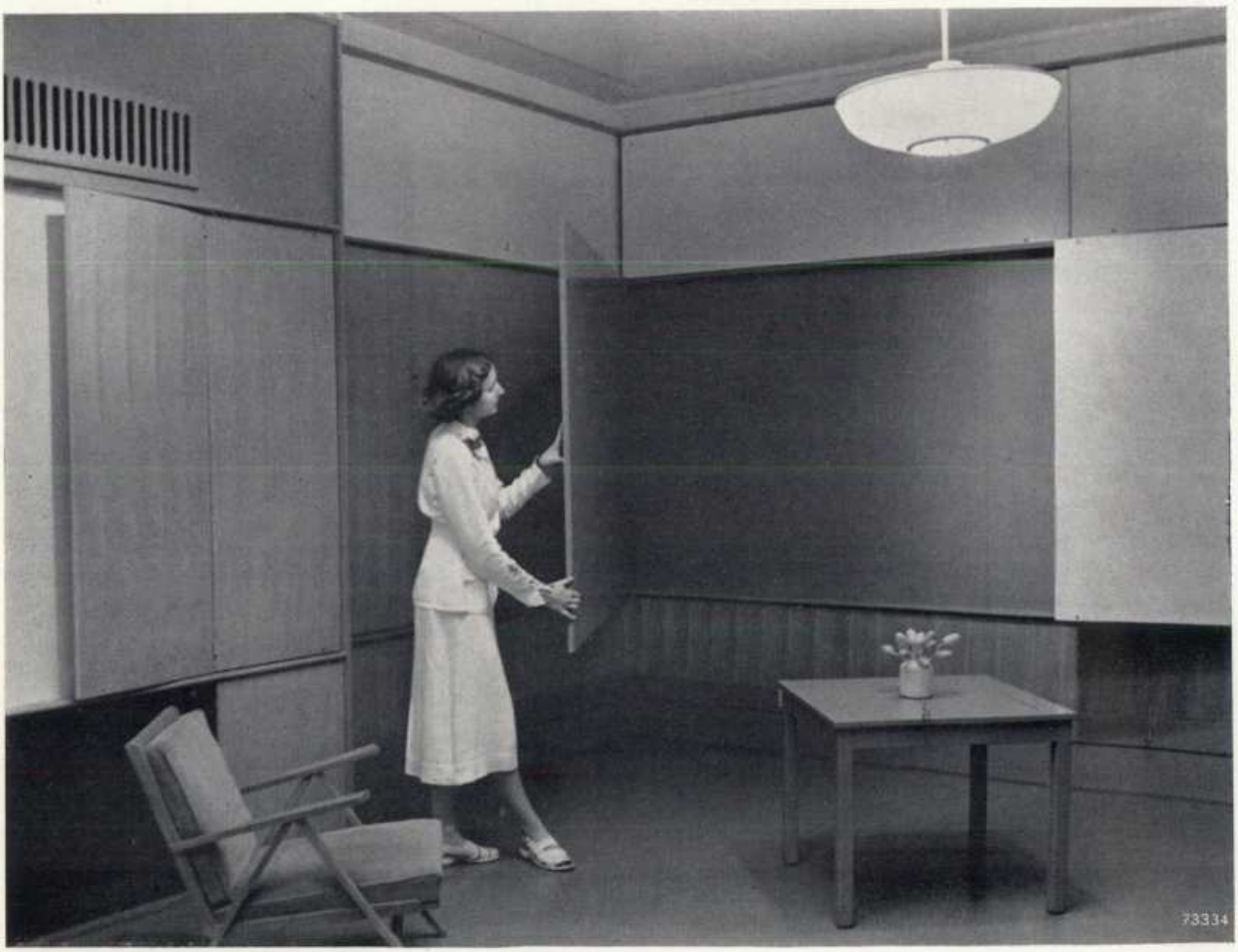


Fig. 10. Proefkamer in het Demonstratielaboratorium. Niet alleen het verlichtingsysteem maar ook de kleuren van de wanden, het meubilair en de schilderijen kunnen gemakkelijk veranderd worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Men moet goed begrijpen dat wij in het bovenstaande niet hebben willen pogen recepten voor artistieke effecten te geven. Wij menen dat ons lijn-, kleur- en helderheidstelsel nuttig kan zijn, daar het een uitvloeisel is van de wijze waarop de mens denkt en waarop hij onbewust reageert op lijnen, kleuren en helderheden die hij met zijn ogen opneemt. De schema's zijn eenvoudig en voor de verlichtingskundige even goed als voor de kunstenaar begrijpelijk, maar ze zijn tevens vaag genoeg om de scheppende geest voldoende speling te laten. Hun belangrijkste functie zouden zij vervullen als zij de kunstenaar vermochten te overtuigen dat het licht „er bij hoort" en dus in zijn ontwerpen dient te worden verwerkt, terwijl zij aan de andere kant de verlichtingskundige zouden moeten overtuigen dat een verlichtingsysteem, of ook alleen naar een verlichtingsniveau, niet afzonderlijk kan worden geprojecteerd doch slechts in nauwe samenwerking met de kunstenaar. De ervaring die wij tot nu toe hebben opgedaan in ons Demonstratielaboratorium, waar onze theorieën het publiek worden voorgezet en zowel bij kunstenaars, architecten en binnenhuisarchitecten als ook bij lichtdeskundigen veel belangstelling bleken te wekken, is zeer bemoedigend geweest en heeft ons vertrouwen versterkt dat een vruchtbare samenwerking tussen deze groepen mogelijk is.

Samenvatting. Gedurende een reeks van jaren heeft men er zich op toegelegd, door middel van „Brightness Engineering" te vermijden dat een verlichtingsysteem onbehagen opwekt. De schrijver is van mening dat ons doel veeleer moet zijn behagen te creëren, dan onbehagen te vermijden. Dit doel kan slechts worden bereikt indien verlichtingskundigen nauw met architecten en binnenhuisarchitecten samenwerken. Als uitgangspunt voor zulk een samenwerking poneert de schrijver een stelsel van lijnen, kleuren en helderheden, dat geschikt is om de aandacht op een oogtaak te concentreren. Vervolgens wordt besproken hoe dit stelsel bij verschillende situaties kan worden aangepast, nl. voor één persoon die achter een bureau zit te werken (in welk geval twee centra van belangstelling aanwezig moeten zijn), voor een restaurant of foyer (horizontale zones), voor een kerk (verticale zones), en voor een warenhuis (een aantal centra van belangstelling). Enkele voorbeelden van de toepassing van het stelsel in de practijk in dergelijke gevallen worden gegeven. Een zekere rechtvaardiging van het fundamentele lijn-, kleur- en helderheidstelsel wordt verkregen door een analyse van beroemde schilderijen, alsmede door experimenten die in het Demonstratielaboratorium te Eindhoven zijn gedaan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

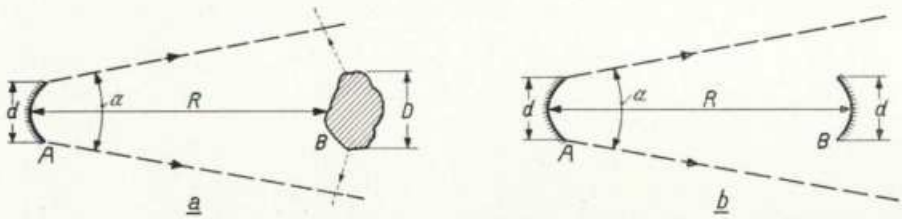
EEN MAGNETRON VOOR BAKENZENDERS OP 3 cm Ggolflengte

door G. A. ESPERSEN *) en B. ARFIN *). 621.385.16:621.396.93

Het magnetron heeft algemeen ingang gevonden als pulserende oscillator voor decimeter- en centimetergolven. Dit is in hoofdzaak te danken aan de zeer grote piekvermogens die het magnetron leveren kan en die van essentieel belang zijn voor radar, lineaire versnellers enz. Er bestaat echter in dit golflengtegebied ook behoefte aan pulserende oscillatoren met relatief geringe piekvermogens, nl. voor bakeninstallaties. In dit artikel wordt uiteengezet hoe voor dit doel een magnetron werd ontworpen onder rigoureuze beperkingen wat betreft gewicht en gloeivermogen. Interessant is de wijze waarop voldaan werd aan de voor deze toepassing karakteristieke eisen ten aanzien van afstembaarheid en frequentiestabiliteit.

Dit artikel zal handelen over een magnetron dat werd ontwikkeld voor bakeninstallaties. Zulk een magnetron moet aan strenge eisen voldoen wat betreft de frequentiestabiliteit. Immers, de voornaamste taak van een baken is het, aan ontvangers op enige afstand de boodschap van zijn aanwezigheid te brengen. Voor het luisterende vliegtuig of schip kan het een kwestie van leven of dood zijn als de afwezigheid van een signaal zou worden versleten voor afwezigheid van het baken. De magnetronfrequentie moet derhalve onder alle omstandigheden binnen de bandbreedte van de ontvangers blijven (dus ondanks eventuele schommelingen in de omgevingstemperatuur en wijzigingen in de impedantie van de uitgangsketen). Bovendien moet een bakenmagnetron afstembaar zijn, teneinde de frequentiebanden van andere bakens te kunnen vermijden en om de in de normale fabricage optredende frequentiespreiding te kunnen compenseren.

Daar staat tegenover dat het vermogen van een bakenmagnetron veel geringer mag zijn dan dat van de beter bekende radarmagnetrons. Dit ziet men direct in als men *fig. 1a* en *b* bekijkt. Op een afstand R is slechts een kleine fractie van het uitgezonden vermogen beschikbaar om door de antenne van een ontvanger te worden opgevangen (geval van een baken) resp. door een voorwerp te worden gereflecteerd (geval van radar). In het geval van radar echter moet het signaal ook nog weer de afstand R terug naar de zender afleggen, zodat van het gereflecteerde vermogen weer slechts een geringe fractie in de radarontvanger terechtkomt. Het aan te tonen signaal is in dit geval een factor $8R^2/D^2$ kleiner dan bij het baken, indien D^2 het werkzame oppervlak van het op te sporen voorwerp is (de ontvangantenne is in beide gevallen even groot ondersteld als de zendantenne). Voor R = 10 km, D = 10 m wordt deze factor ca. 10^7. Waar dus een radarmagnetron vermogens van de orde van honderden kilowatt moet opwekken, behoeft een bakenmagnetron, hoewel er gewoonlijk



73169

Fig. 1. *a*) Schematische voorstelling van een radarsysteem. Het op te sporen voorwerp B, dat een oppervlakte D^2 heeft en zich op een afstand R bevindt, ontvangt een fractie $(D/\alpha R)^2$ van het electromagnetische vermogen dat de zendantenne in de ruimtehoek α uitstraalt. Wordt dit vermogen gelijkmatig naar één kant (d.i. de halve ruimte, ruimtehoek 2π) gereflecteerd, dan wordt hiervan een fractie $d^2/8R^2$ door de antenne A — die tevens ontvangantenne is en een diameter d heeft — opgevangen. In de ontvanger moet dus een vermogen worden aangetoond dat $(D/\alpha R)^2\ d^2/8R^2$ maal zo klein is als het uitgezonden vermogen. *b*) Schematische voorstelling van een bakensysteem. Indien de ontvangantenne B even groot is (diameter d) als de zendantenne A, wordt een fractie $(d/\alpha R)^2$ van het uitgezonden vermogen opgevangen. Het aan te tonen signaal is dan $8R^2/D^2$ maal zo groot als in het geval van radar.

*) Philips Laboratories, Inc., Irvington-on-Hudson, N.Y., U.S.A.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een kleinere antenne bij gebruikt wordt, slechts enkele tientallen watt te leveren.

In het Philips-laboratorium te Irvington (U.S.A.) is een bakenmagnetron ontwikkeld dat moest voldoen aan de volgende specificatie [1]):

Frequentie: nominaal 9310 MHz, instelbaar van 9300 tot 9320 MHz (golflengte 3,2 cm).

Uitgangsvermogen (topwaarde): minstens 50 W, normaal 100 W.

Werkfractie („duty cycle"): hoogstens 0,003.

Meesleepgetal [2]): 6 MHz.

Frequentieverloop bij een temperatuurverandering van $\pm$ 40 °C: niet meer dan $\pm$ 3 MHz.

Frequentieverloop bij wijziging van de werkfractie: niet meer dan 1 MHz.

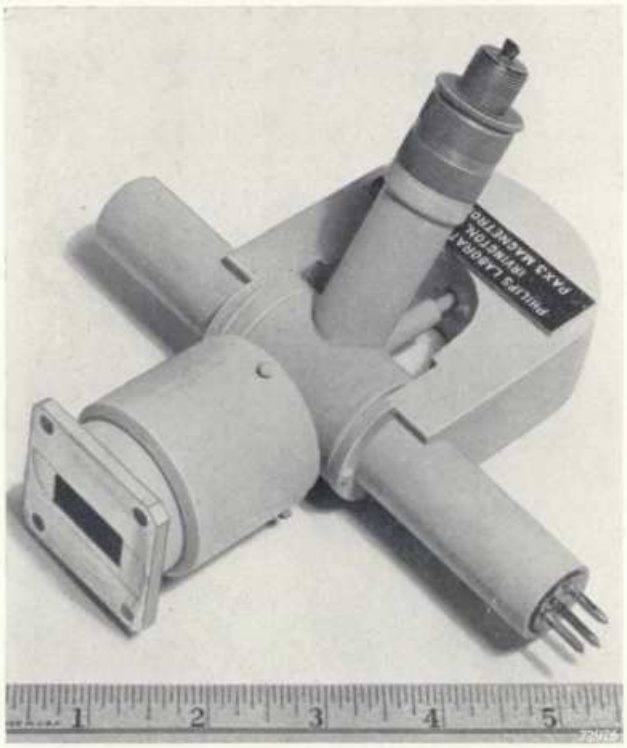


Fig. 2. Foto van het uitgevoerde magnetron, type PAX3 (golflengte 3 cm, topvermogen 100 W), met gemonteerde magneet. De afmetingen blijken uit de inch-schaal.

Wegens het geringe verlangde vermogen moest het mogelijk zijn de buis te doen werken met een betrekkelijk lage anodespanning en klein gloeivermogen voor de kathode. Bovendien opende het de mogelijkheid tot een betrekkelijk lichte constructie, wat speciaal van belang kan zijn voor draagbare bakens, die bijv. slechts tijdelijk moeten worden opgesteld. Als richtlijn werden de volgende gegevens genomen: anodespanning 800 V, gloeispanning en -stroom 6,3 V resp. 300 mA, rendement 30%, totaal gewicht minder dan 1150 gram.

Het volgens deze specificatie ontwikkelde magnetron (type PAX 3) is in *fig. 2* afgebeeld, met de bijbehorende magneet. In *fig. 3* ziet men enige belangrijke onderdelen. Wij zullen nu het ontwerp van dit magnetron bespreken.

Keuze der resonatoren

Voor de resonatoren kozen wij het „rising-sun" anodesysteem (zie I), dat een aantal afwisselend grote en kleine trilholten bevat. Ten opzichte van de anode met „straps" heeft dit anodesysteem verschillende voordelen: de inwendige verliezen zijn kleiner; de fabricage is gemakkelijker, waardoor men ook een gelijkmatiger product kan krijgen; er kan een groter frequentieverschil tussen de verschillende trillingswijzen worden verkregen (voor een toelichting waarom dit gewenst is, zie weer I); ten slotte bestonden er reeds magnetrons van het rising-sun type met eigenschappen die enigszins op de gewenste leken.

Vorm en afmetingen van de wisselwerkingsruimte

De wisselwerkingsruimte, d.i. de ruimte waarin de electronen en het electromagnetische veld op elkaar inwerken (*fig. 4*), wordt beschreven door een aantal parameters, te weten het aantal schotten N (dit is natuurlijk gelijk aan het aantal trilholten), de straal r_c van de kathode, de straal r_a en de hoogte h van de anode. Een parameter die voor de werking van het magnetron er minder toe doet maar waar de buizenconstructeur veel belang in stelt, is de dikte t van de schotten.

Om de waarden van de parameters vast te leggen, maken wij gebruik van enige algemene betrekkingen:

a) De voorwaarde voor de π-trilling; bij deze trillingswijze is het fazeverschil $\varphi = k \cdot 2\pi/N$ tussen de trillingen van opeenvolgende holten gelijk aan π, dus

$$k = N/2. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Deze trillingswijze is het meest geschikt om het aanstoten van ongewenste trillingswijzen te vermijden (zie I).

b) De voorwaarde voor synchroon lopen van het roterende veld en de electronen (I, verg. 5) :

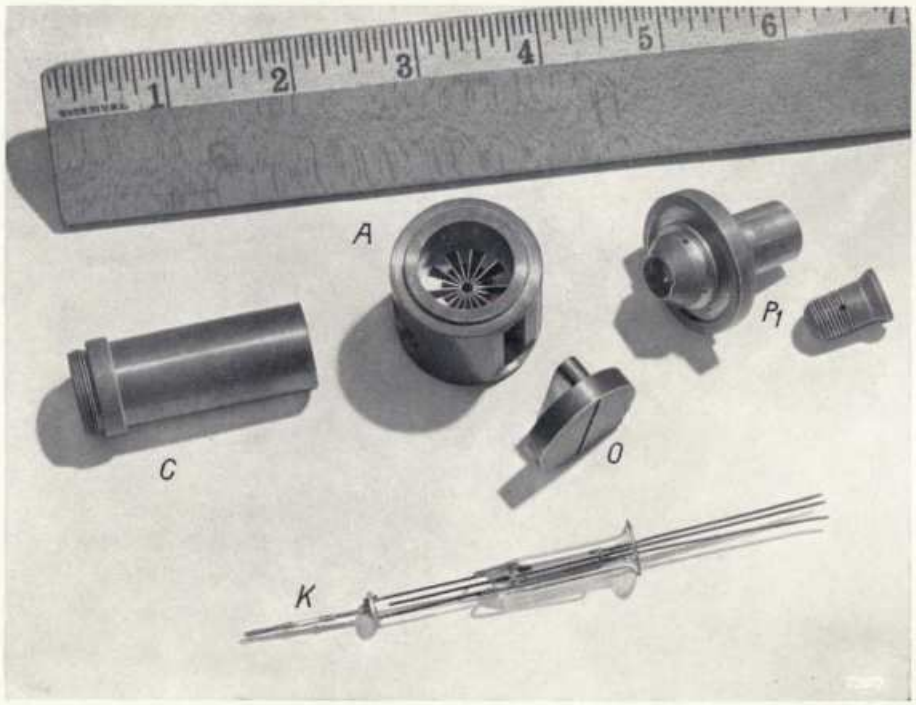
$$V = \frac{2\pi}{N\lambda} r_a^2 B \left\{ 1 - \left(\frac{r_c}{r_a} \right)^2 \right\} - \frac{m}{2e} \left(\frac{4\pi r_a}{N\lambda} \right)^2.$$

[1]) G. A. Espersen en B. Arfin, Low-voltage tunable X-band magnetron development, Tele-Tech, Juni 1951, p. 50-51 en 84, en Juli 1951, p. 30-31.

[2]) Voor dit en verschillende andere begrippen die op magnetrongebied worden gebruikt, zie: J. Verweel, Magnetrons, Philips techn. T. **14**, 50-64, 1952 (No. 2). Dit artikel wordt hier verder aangehaald als I.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

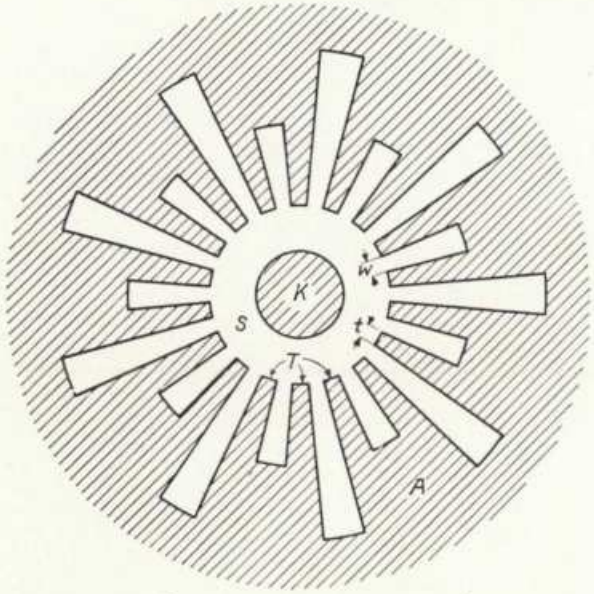
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a

b

Fig. 3. *a*) Onderdelen van het in fig. 2 afgebeelde magnetron. *K* kathode, *A* anodelichaam met trilholten, *O* uitgangskoppeling voor het afnemen van het hoogfrequente vermogen, P_1 een der beide conische poolschoenen met inzetstuk voor justering, *C* cylindrisch vat voor afstem- en compensatie-inrichting (zie later).
b) Lichaam met dubbele balg voor afstem- en compensatie-inrichting (zie later).



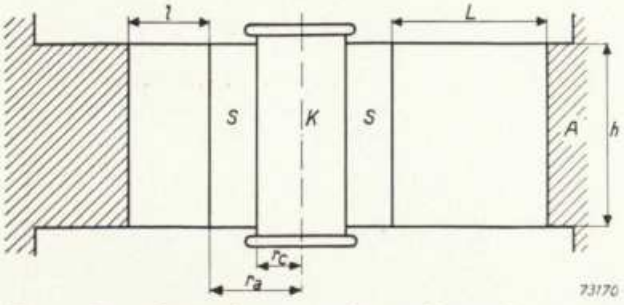


Fig. 4. Dwarsdoorsnede en overlangse doorsnede van een rising-sun magnetron. *S* is de wisselwerkingsruimte, *K* de kathode, *T* zijn de schotten van de anode *A*.

V is de aangelegde anodespanning, B de inductie van het axiale veld, m en e de massa en lading van het electron. Deze vergelijking kunnen wij ook zo schrijven:

$$\frac{V}{V_0} = 2\frac{B}{B_0} - 1, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

waarbij

$$V_0 = 10^7 \left(\frac{2r_a}{N\lambda}\right)^2 \text{ volt} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

en

$$B_0 = \frac{0{,}043}{\left\{1 - \left(\frac{r_c}{r_a}\right)^2\right\} N\lambda} \text{ Wb/m}^2 \ldots \quad (4)$$

(λ en r_a zijn hierbij in meters gemeten). V_0 en B_0 zijn de coördinaten in het V-B-vlak van het raakpunt tussen de rechte lijn (2) en de „afknijpparabool" (zie I, pag. 56).

c) De verhouding B/B_0 moet groot genoeg zijn om een redelijk rendement te krijgen (bij $B = B_0$ is het rendement nul).

Beschouwen wij nu eerst het aantal schotten N. Daar het leeuwendeel van het gewicht voor rekening van de magneet komt, kunnen wij ons geen grote B veroorloven. Daarom moet ook B_0 klein zijn, en dus is volgens verg. (4) een grote N gewenst. Anderzijds betekent een groot aantal schotten dat deze zeer dun en de gleuven zeer nauw

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

worden. Aangezien het anodesysteem door „hobben" wordt vervaardigd (zie I), moeten de dikte t van de schotten en de breedte w van de gleuven — d.i. de kleinste dikte van de ribben van de hobstempel — liefst niet te klein zijn, om een beschadiging hetzij van de hobstempel hetzij van het koperblok tijdens het hobproces te vermijden. Men zou de tegenstrijdige eisen van een grote N en niet te kleine t en w met elkaar kunnen verenigen door een grotere anodestraal r_a te kiezen, maar dit zou meebrengen dat een groter volume van een homogeen magnetisch veld moet worden voorzien, hetgeen een zwaardere magneet zou vereisen. Deze overwegingen leidden ten slotte er toe het aantal schotten vast te stellen op $N = 18$ — een waarde die goed te verenigen valt met een uit constructief oogpunt redelijke keuze der overige parameters. Daarmee hebben wij dus $k = 9$.

In het Columbia Radiation Laboratory is empirisch gevonden dat voor rising-sun magnetrons met 18 schotten de optimale verhouding van kathode- en anodestraal is:

$$\frac{r_c}{r_a} = 0{,}6 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Hiermee volgt uit verg. (4):

$$B_0 = \frac{0{,}043}{(1-0{,}6^2)\cdot 18\cdot 0{,}032} = 0{,}12 \text{ Wb/m}^2.$$

Wij kunnen er nu toe overgaan een waarde voor B te kiezen. Zoals reeds werd gezegd, neemt het rendement, dat bij $B = B_0$ gelijk nul is, met toenemende B toe. In een rising-sun magnetron treedt echter bij inducties in de buurt van $B = 0{,}0125/\lambda$ Wb/m² een daling in rendement op. In ons geval is dus $B = 0{,}39$ Wb/m² een gevaarlijke waarde, waar wij niet te dicht bij mogen komen.

Wij willen dit toelichten aan de hand van *fig. 5* [3]). Dit is als het ware een momentopname van de stromen die in de wanden der resonatoren vloeien als het magnetron een π-trilling uitvoert. Ten gevolge van de rising-sun vorm bevinden zich de stroomknopen (en derhalve de plaatsen van maximale electrische veldsterkte) niet op de uiteinden van de schotten doch binnen de grote trilholten, bij A. Dientengevolge vloeien op ieder willekeurig tijdstip, zoals men uit de figuur ziet, de stromen op de uiteinden van alle schotten in dezelfde richting, voorts is de hoogfrequente veldsterkte in de opening van de grote holten groter dan in de opening van de kleine holten. Een en ander houdt in, dat in de wisselwerkingsruimte behalve het electromagnetische veld van de π-trilling ook een veldcomponent aanwezig is die de trillingswijze met $k = 0$ kenmerkt, d.i. een veld dat alleen van de straal maar niet van het azimuth afhangt. Gewoonlijk doet deze veldcomponent geen kwaad; gedurende de tijd nl. waarin een electron — dat zich op een cycloïdebaan van de kathode weg beweegt — in wisselwerking met het veld van de π-trilling staat, beschrijft het electron verscheidene lussen en de werking van het $k = 0$-veld op het electron is derhalve gemiddeld nul. Dit veld zal echter wèl kwaad doen als de frequentie van de cirkelbeweging van het electron, die aangeduid wordt als „cyclotronfrequentie" en die voor het vlakke magnetron $\omega = eB/m$ bedraagt, samenvalt met de gewenste frequentie van de π-trilling; immers, in dat geval varieert de periodieke radiale verplaatsing van de electronen synchroon met de variatie van de $k = 0$-component. Geeft men dus B de waarde $0{,}0107/\lambda$ Wb/m², of in het geval van het cylindrische magnetron: $0{,}0125/\lambda$ Wb/m², waarbij λ de gewenste magnetrongolflengte in meters is, dan zal een storing van de electronenbeweging optreden, waardoor het rendement van de wisselwerking met de rondlopende golf (zie I) zal worden verminderd. In het werkingsdiagram van het magnetron, dat o.a. de „hoogtelijnen" van het „rendementsgebergte" op het V-I-vlak toont (zie ook fig. 10), zal men dus een „dal" vinden langs de lijn $B = 0{,}0125/\lambda$ (in Amerika ietwat romantisch aangeduid als „valley of shadows").

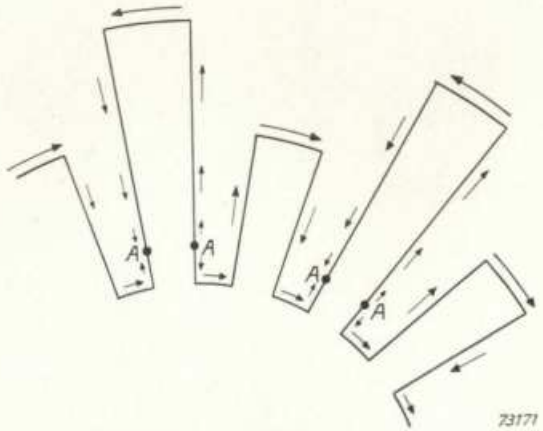


Fig. 5. De pijlen geven de richting en relatieve grootte van de stromen aan die op een gegeven, willekeurig, moment in de wanden van de trilholten van een rising-sun systeem vloeien. De knopen van de hoogfrequente stroom treden op in punten A binnen de grote trilholten. (Ter toelichting van het verminderde rendement voor $B = 0{,}0125/\lambda$ Wb/m².)

Het is dus gewenst, òf boven òf beneden deze waarde van de inductie te werken. Aangezien het gewicht van de magneet hier zwaar woog (figuurlijk), besloten wij beneden de gevaarlijke waarde te blijven. Wij kozen $B = 3B_0 = 0{,}35$ Wb/m² als een goed compromis tussen rendement en gewicht.

Nu zijn de overblijvende parameters gemakkelijk te bepalen. Verg. (2) levert:

$$\frac{V}{V_0} = 5;$$

voor $V = 800$ volt moeten we dus $V_0 = 160$ V maken. Uit (3) vinden we dan

$$r_a = 1{,}15 \text{ mm},$$

en uit (5) volgt:

$$r_c = 0{,}69 \text{ mm}.$$

De omtrek van de wisselwerkingsruimte is $2\pi r_a = 18t + 18w$. Ter vereenvoudiging van het hobben

[3]) Zie J. B. Fisk, H. D. Hagstrum en P. L. Hartman, Bell Syst. techn. J. **25**, 167-348, 1946, speciaal p. 230.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kozen wij de afmetingen t en w van schotten en gleuven even groot. Derhalve werd

$$t = w = 0{,}20 \text{ mm}.$$

Dit is een practisch goed te realiseren waarde, al behoeft het wel geen betoog, dat zowel de hobstempel als het anodesysteem voorzichtig moeten worden behandeld.

De hoogte h van de anode bepaalt de nodige spleetlengte van de magneet alsmede de vereiste emissie (stroomdichtheid) van de kathode. Op grond van ervaringen met andere magnetrons werd een hoogte h van 5,08 mm gekozen.

De kathode

Teneinde bij een rendement van 30% en met een anodespanning van 800 V een hoogfrequent vermogen van 100 W te verkrijgen, is een stroom I van 0,417 A nodig. De vereiste emissie is dus:

$$J = \frac{I}{2\pi r_c h} = 1{,}9 \text{ A/cm}^2.$$

Voor een pulserend werkende kathode, met een werkfractie 0,003, is dit nog een relatief kleine waarde.

Met het oog op het geringe volgens de specificatie toegestane gloeivermogen kwam alleen een kathodetype met het grootst mogelijke thermische rendement in aanmerking, te meer aangezien bij zulk een gering buisvermogen geen noemenswaardige warmteontwikkeling op de kathode door terugvallende electronen optreedt. Aan de gestelde eisen kon worden voldaan met een normale oxydekathode, verhit door een enkelvoudige, met aluminiumoxyde bedekte wolfraamspiraal voor 6,3 V, 290 mA. De nodige mechanische sterkte en nauwkeurige geometrische ligging van de kathode (fig. 3) worden verkregen door deze te monteren tussen twee keramische houders die stevig in de uitgeboorde poolschoenen zijn bevestigd.

Voor we er toe overgaan de andere onderdelen van de constructie te bespreken, is het wellicht de moeite waard de onderhavige buis voor klein vermogen eens te vergelijken met een radarmagnetron voor groot vermogen.

Stel dat we te maken hebben met een radarmagnetron voor 3 cm golflengte en 1 MW piekvermogen. Een normale waarde voor het rendement van zulke magnetrons is 50%. Het ingangsvermogen is dan $V \cdot I = 2$ MW. Daar men uit ervaring weet dat de verhouding V/I, d.i. de impedantie van het magnetron, niet veel kleiner dan 300-400 ohm kan worden gemaakt, zijn de vereiste gelijkspanning en gelijkstroom:

$$V \approx 30 \text{ kV}, \quad I \approx 70 \text{ A}.$$

Voor 18 resonatoren zijn in dit geval de parameterwaarden $r_c = 3$ mm en $r_a = 5$ mm geschikt. Hiervan uitgaande, berekenen we: $V_0 = 3$ kV en $B_0 = 0{,}115$ Wb/m², waaruit volgt $V/V_0 = 10$ en wegens verg. (2):

$$B = 5{,}5\, B_0 = 0{,}64 \text{ Wb/m}^2.$$

De inductie ligt dus nu boven de gevaarlijke waarde.

Neemt men voor de kathode een practisch bereikbare emissie J van 18 A/cm² aan, dan is voor de genoemde stroom van 70 A een hoogte $h = 20$ mm van de anode nodig.

Vergeleken met ons bakenmagnetron, kunnen we de ontwerpgegevens van het radarmagnetron als volgt samenvatten:

1) 17 maal zo grote kathodeoppervlakte en 10 maal zo grote stroomdichtheid, waardoor de totale stroom ca. 170 maal zo groot wordt als in het bakenmagnetron.
2) Ongeveer 4,5 maal zo grote anodestraal r_a, die een hogere waarde voor V_0 meebrengt; bovendien een grotere verhouding V/V_0. Tezamen leidt dit tot een ca. 40 maal zo hoge anodespanning.
3) Het volume van de wisselwerkingsruimte, dus ook het volume waarin een homogeen magnetisch veld moet worden opgewekt ($\pi r_a^2 h$), is ca. 75 maal zo groot als in het kleine magnetron. Tezamen met de grotere inductie (waaraan het hogere rendement te danken is) maakt dit, dat de totale vereiste magnetische energie en dus het nodige gewicht aan magneetstaal globaal 150 maal zo groot is als bij het bakenmagnetron!

De afmetingen van de resonatoren en van de uitgangskoppeling

Wat de resonatoren betreft, moeten nog de lengten L resp. l van de grote en de kleine holten worden vastgelegd (*fig. 6*).

De som $L+l$ is door de gewenste golflengte bepaald. De golflengte kan nl., afgezien van een correctiefactor die weinig van 1 afwijkt, gelijkgesteld worden aan de volledige omtrek van een grote en een kleine trilholte; zie de dik getekende lijn in fig. 6. Het gaat er dus nog om, de verhouding L/l te kiezen. Een grote waarde van L/l bevordert de scheiding der trillingswijzen — het rising-sun systeem, waarbij het juist om deze scheiding begonnen is, berust er immers op, dat $L \neq l$ is. Helaas bevordert een grote L/l tevens het mede aanstoten van de $k = 0$-trilling (zie de uiteenzetting in kleine letters op pag. 253) en vermindert derhalve het rendement, doordat het gebied van inducties B

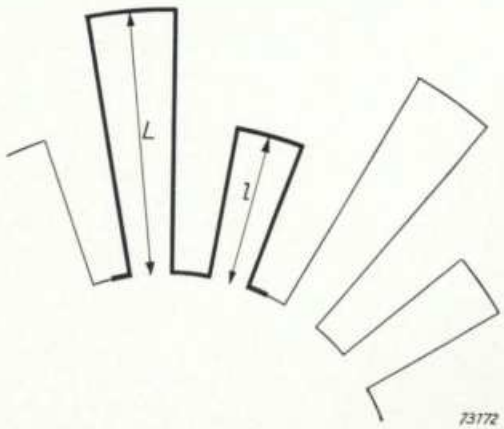


Fig. 6. De totale omtrek $2L+2l$ van een grote en een kleine trilholte (dik getrokken lijn) verschilt slechts weinig van de golflengte van de π-trilling.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarin het rendement laag is, wordt verbreed. Men zal dus een compromis moeten sluiten.

Het valt buiten het bestek van dit artikel om dieper in te gaan op de wijze waarop de verhouding L/l wordt bepaald, en hoe de correctiefactor voor de som $L+l$ wordt gevonden. Hetzelfde geldt voor het ontwerp van de uitgangskoppeling, waarmee het hoogfrequente vermogen van het magnetron wordt afgenomen (sectie van een golfpijp die als impedantietransformator werkt): door geschikte constructie hiervan moet worden gezorgd dat het meesleepgetal binnen de gestelde grens van 6 MHz blijft, terwijl aan de andere kant het rendement zo hoog mogelijk moet zijn. We willen hier volstaan met de vermelding dat het ontwerpen van deze koppeling op analoge wijze in zijn werk gaat als wat in het voorafgaande gedeelte van dit artikel is gedaan en wat op magnetrongebied algemeen gebeurt: zo ver als men kan, steunt men op de theorie, maar tot op heden is deze nog niet voldoende ontwikkeld, dwz. zij kan niet voorspellen of een op papier ontworpen model goed zal werken. Men kiest dus de waarden voor de parameters op grond van de ervaring die met andere, op de gewenste buis lijkende magnetrons is opgedaan, maakt een proefbuis, en kan dan uit de resultaten die met deze proefbuis worden verkregen de eventueel nodige wijzigingen afleiden.

Aldus te werk gaande, kwamen we tot de waarden $L = 7{,}4$ mm en $l = 4{,}25$ mm, en als uitgangskoppeling werd een spleetkoppeling ontwikkeld met een rechthoekige spleet van 10,8 mm lengte en $22{,}3 \times 1{,}1$ mm² doorsnede (fig. 3*a*, *O*).

De magneet

Dank zij de zeer kleine wisselwerkingsruimte is slechts een geringe magnetische energie nodig, zodat het mogelijk was zeer zuinig met magneetstaal te zijn. Bij het ontwerpen van de magneet mochten echter verschillende voorwaarden niet uit het oog worden verloren. Het magnetische veld moet in de gehele wisselwerkingsruimte vrijwel homogeen zijn, teneinde te vermijden dat electronen uit deze ruimte weg en naar de magneetpolen toe zouden „kurketrekkeren". De vacuumspleet tussen de poolschoenen — die men het liefst niet noemenswaardig langer dan de anodehoogte h zou maken — moet lang genoeg zijn om electrische resonantie van de eindruimten te vermijden, aangezien zulk een resonantie fnuikend zou kunnen zijn voor de stabiliteit van de gewenste trillingswijze en voor het rendement. De ten slotte uitgevoerde constructie bevat twee conische poolschoenen (fig. 3*a*, P_1) met een spleet van 7,62 mm, de magnetomotorische kracht wordt geleverd door een hoefijzermagneet van 600 gram gewicht (fig. 2). *Fig. 7* is een op schaal getekende overlangse doorsnede van het systeem inclusief de poolschoenen. In deze figuur zijn tevens de „aequipotentiaalvlakken" tussen

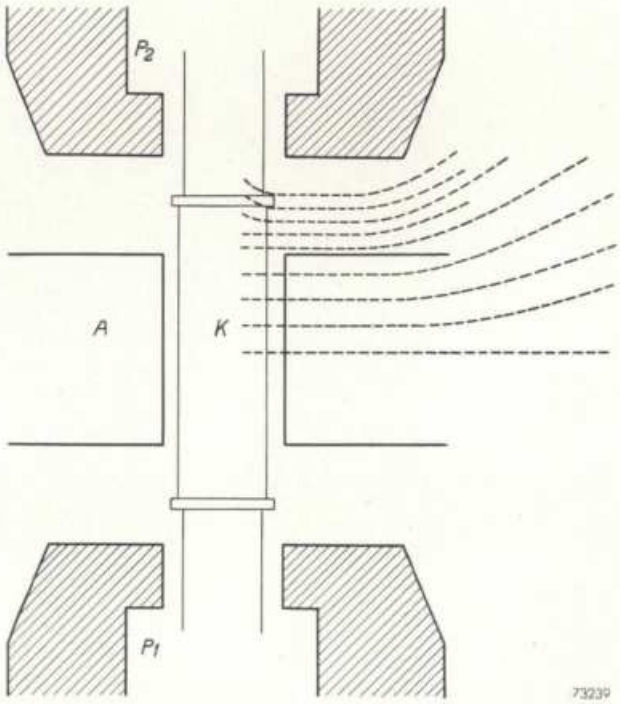


Fig 7. Overlangse doorsnede van het 3 cm-magnetron, met anode *A*, kathode *K* en poolschoenen P_1, P_2 van het magnetisch circuit. De poolschoenen zijn van een axiale boring voorzien, waarin de kathode stevig wordt verankerd. De stippellijnen geven de „aequipotentiaalvlakken" van het magnetische veld aan; men ziet dat dit in de gehele wisselwerkingsruimte zeer behoorlijk homogeen is.

de poolschoenen aangegeven, die met behulp van een electrolytische trog werden bepaald [4]); de magnetische krachtlijnen staan loodrecht op deze vlakken. Men ziet dat het veld in de gehele wisselwerkingsruimte tussen anode en kathode zeer behoorlijk homogeen is.

Afstemming

Het gebied waarbinnen de magnetronfrequentie moet kunnen worden gevarieerd, van 9300 tot 9320 MHz, is smal genoeg om het door afstemming in een enkele anoderesonator te kunnen bestrijken. Dit is natuurlijk constructief veel eenvoudiger te verwezenlijken dan een afstemming in alle resonatoren.

Wij hebben twee afstemmethodes experimenteel onderzocht. Bij de eerste brengt men door een der beide anode-eindruimten heen een stift meer of

[4]) M. Bowman-Manifold en F. H. Nicoll, Electrolytic field plotting trough for circularly symmetric systems, Nature **142**, 39, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

minder diep in de open zijkant van een der trilholten (*fig. 8a*). Bij een bepaalde diepte van de stift trad echter een resonantieverschijnsel op, dat een duidelijke achteruitgang in rendement ten gevolge had; deze methode was daarmee van de

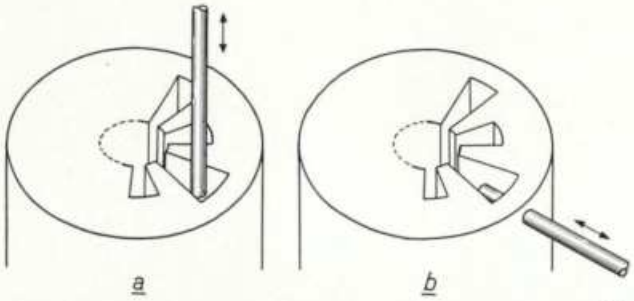


Fig. 8. Twee methodes van afstemming van het magnetron. *a*) Een stift wordt door een van de beide eindruimten heen in de open zijkant van een trilholte geschoven. *b*) Een stift wordt radiaal in een trilholte gebracht.

baan. Bij de andere methode wordt een stift radiaal in een der trilholten geschoven (fig. 8*b*). Proeven met een niet-oscillerende buis toonden aan dat deze methode in een groot afstemgebied geen zeer nadelige invloed op de kwaliteitsfactor Q van het resonantiesysteem had. De stift kon hetzij in een kleine of in een grote trilholte worden gebracht; wij kozen de laatstgenoemde mogelijkheid.

De frequentie van het magnetron neemt toe als men de stift dieper inbrengt; de frequentieverandering per lengte-eenheid van verschuiving van de stift hangt van diens doorsnede af, hetzelfde geldt dus ook voor het gehele te bestrijken frequentiegebied. De gebieden die met drie verschillende stiften bij een radiale slag van 2,54 mm werden verkregen, zijn in *tabel I* vermeld. Met de dikste stift was het frequentiegebied 80 MHz; deze stift deed het rendement een weinig dalen, maar bleek overigens generlei nadelige gevolgen voor de werking van de buis mee te brengen. Aangezien bij de fabricage een zekere frequentiespreiding van de buizen onvermijdelijk is, was een groot afstemgebied aanlokkelijk teneinde in ieder geval de nominale frequentie mèt het vereiste variatiegebied door de afstemming te kunnen bestrijken. Om deze reden kozen wij de dikste in tabel I genoemde stift.

Tabel I. Afstemgebied dat met verschillende stiften bij een radiale slag van 2,54 mm werd verkregen.

Doorsnede van stift	Frequentiegebied in MHz
Rond 1,52 mm diam.	12
Rechthoekig 1,52 × 3,2 mm²	65
Rechthoekig 1,52 × 4,56 mm²	80

Inrichting voor temperatuurcompensatie

In het temperatuurgebied waarin het magnetron moest werken bleek de frequentie 0,16 MHz per °C te variëren, ten gevolge van de thermische uitzetting van het anodelichaam. Het toegelaten frequentieverloop bedraagt 3 MHz over 40°, dwz. 0,075 MHz per °C. Het was derhalve noodzakelijk de buis van een inrichting voor temperatuurcompensatie te voorzien.

Wij hebben deze inrichting gecombineerd met het afstemmechanisme, op een wijze die in *fig. 9* schematisch is weergegeven (zie ook fig. 3*b*).

De gehele inrichting is ondergebracht in een cylindrisch vat (A), dat vacuumdicht aan het anodelichaam is gesoldeerd, met de as loodrecht op de anode-as. De afstemstift (B) vormt een geheel met een zuiger (C), die aan een vacuumdichte metaalbalg (D) bevestigd is. Met het andere eind is deze balg aan een cylinder (E) met centreerring (F) gesoldeerd, die in het vat A heen en weer kunnen glijden. Deze cylinder E, die aan het andere eind gesloten is, en de balg D zijn gevuld met een vloei-

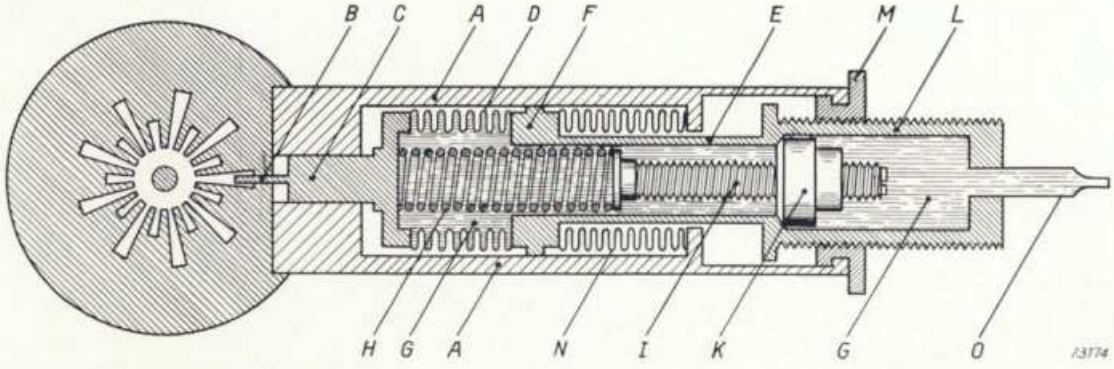


Fig. 9. Schematische tekening van het afstemmechanisme, dat gecombineerd is met de inrichting voor automatische temperatuurcompensatie. A cylindrisch vat, B afstemstift, C zuiger, D en N balgen, E cylinder met centreerring F, G vloeistof, H trekveer die aan de zuiger C en de bout I is bevestigd, K moer (van groeven voorzien voor het doorstromen van de vloeistof), L schroef, M kartelmoer, O afgeknepen vulbuisje.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stof (G) onder atmosferische druk. De ruimte buiten de balg is geëvacueerd; een te sterke uitzetting van de balg, die hiervan het gevolg zou zijn, wordt belet door een trekveer (H), die enerzijds aan de zuiger C is bevestigd en anderzijds aan een bout (I), die door een van groeven voorziene moer (K) in de cylinder E wordt vastgehouden.

Het afstemmen geschiedt met behulp van een schroef (L) en een kartelmoer (M). Draait men aan deze moer, dan zal het gehele samenstel van cylinder E met balg D, veer en zuiger bijv. naar links bewegen, waardoor de afstemstift dieper in de trilholte gebracht en de magnetronfrequentie verhoogd wordt. Anderzijds zal een verhoging van de omgevingstemperatuur — die de frequentie van het magnetron door uitzetting van de trilholten doet dalen — de vloeistof in de balg D relatief sterk doen uitzetten terwijl de cylinder E met ring F (afgezien van hun, geringere, uitzetting) op hun plaats blijven. In dit geval zal dus de balg D langer worden en de stift B zal wederom dieper in de holte geschoven worden, waardoor hij een toeneming van de magnetronfrequentie bewerkstelligt die de eerstgenoemde daling compenseert.

De tweede balg (N) die men in fig. 9 ziet, heeft alleen maar ten doel op de gebruikelijke wijze voor een vacuumdichte afsluiting van het cylindrische vat A, en daarmee van het magnetron, te zorgen. De balg is hiervoor nodig, want van de centreerring F kan men niet verwachten dat hij deze ruimte vacuumdicht afsluit. Er zij nog op gewezen dat bij het afstemmen de balg D niet van lengte verandert, terwijl de balg N wordt uitgerekt of samengedrukt; bij de compensatie van temperatuurschommelingen daarentegen zijn de rollen van de beide balgen verwisseld.

Het vullen met vloeistof geschiedt door een koperen buisje (O), dat vervolgens afgeknepen wordt. Door keuze van een vloeistof met een geschikte thermische uitzettingscoëfficient kan een zeer goede temperatuurcompensatie worden verkregen. Natuurlijk moet de vloeistof nog aan allerlei andere eisen voldoen; vooral mag zij de delen waarmee zij in aanraking komt niet chemisch aantasten. Om dezelfde reden mag zij geen spoor water bevatten. Van alle door ons beproefde vloeistoffen bleken er slechts twee in aanmerking te komen, nl. hexaan en 2,2,4-trimethylpentaan. Wij kozen de eerstgenoemde. Hiermee werd een temperatuurcoëfficient van het magnetron van 0,075 MHz per °C in het temperatuurgebied van −50 tot +50 °C verkregen. Aan de gestelde eisen is hiermee voldaan.

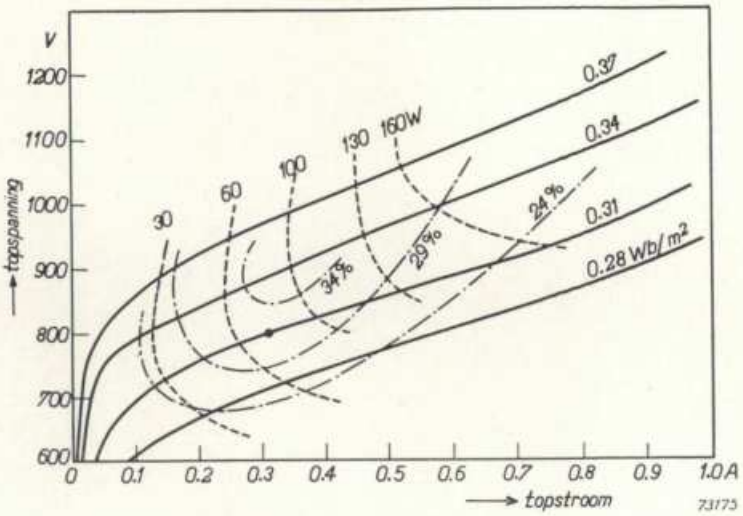


Fig. 10. Werkingsdiagram van een der definitieve modellen van het magnetron PAX3, bij een werkfractie van 0,0005 (impulsbreedte $5 \cdot 10^{-7}$ sec, herhalingsfrequentie 1000 per seconde). Het aangegeven werkpunt beantwoordt aan een spanning van 800 V en een inductie van 0,31 Wb/m², waarbij het rendement ca. 30% is.

Tot besluit van deze korte beschrijving, geven wij in *fig. 10* het werkingsdiagram (zie I) van een der definitieve buismodellen. Men ziet dat het magnetron behoorlijk werkt bij een anodespanning van 800 V en een magnetische inductie van 0,31 Wb/m²; het rendement is dan bijna 30%. *Fig. 11* geeft het Rieke-diagram voor deze buis (zie I). Zoals men

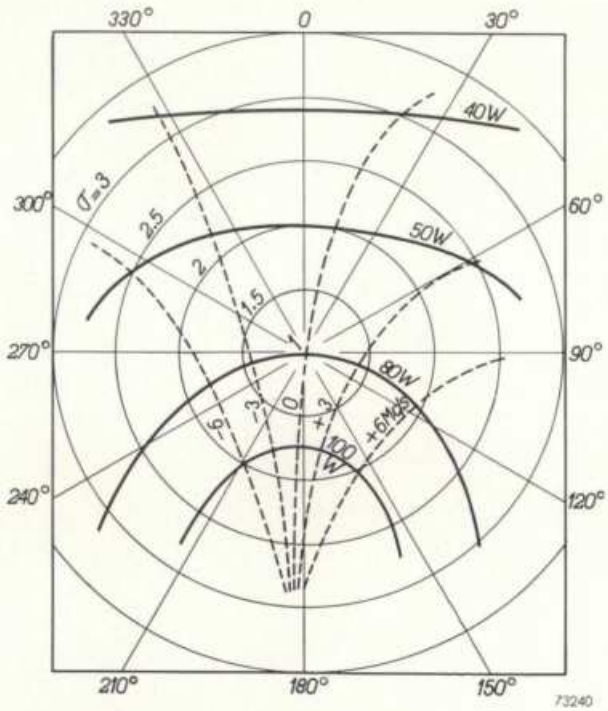


Fig. 11. Rieke-diagram van dezelfde buis als in fig. 10. Het meesleepgetal is ongeveer 6 MHz (totale frequentievariatie die men op de gestippelde lijnen tegenkomt als men deze doorsnijdt in een volledige rondgang langs de cirkel met staandegolfverhouding $\sigma = 1{,}5$).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hierin ziet, is het meesleepgetal ongeveer 6 MHz, hetgeen strookt met de specificatie. Het totale gewicht van dit model inclusief de magneet bedraagt 1080 gram.

Samenvatting. De ontwikkeling wordt beschreven van een rising-sun magnetron voor 3 cm-golven, met 18 trilholten. Dit magnetron is speciaal bestemd voor bakenzenders. Het nominale hoogfrequente vermogen (topwaarde van impuls) is ca. 100 W, de frequentie kan ongeveer 20 MHz worden gevarieerd; de frequentiestabiliteit voldoet aan zeer strenge eisen, o.a. dank zij een hiertoe ontwikkelde inrichting voor automatische temperatuurcompensatie. Deze inrichting is gecombineerd met het afstemmechanisme, dat gebruik maakt van een stift die radiaal in een van de 18 trilholten geschoven wordt: een vloeistof verplaatst door haar thermische uitzetting een zuiger die de afstemstift draagt, zodanig dat het temperatuurverloop van de buisfrequentie juist gecompenseerd wordt. Andere kenmerken van het magnetron zijn: lage anodespanning (800 V), klein gloeivermogen van de kathode (6,3 V, 300 mA) en gering gewicht (1080 g, inclusief de magneet). Het artikel geeft de overwegingen weer die tot een geschikte dimensionnering van de wisselwerkingsruimte, de resonatoren, de magneet en andere onderdelen van de buis leiden. De grenzen van de theorie en het aandeel van het experimentele onderzoek bij de ontwikkeling van een magnetron worden in het licht gesteld.

EEN OSCILLATOR MET CONSTANTE UITGANGSPANNING

door L. ENSING en H. J. J. van EYNDHOVEN. 621.396.615:621.316.722.1

Gebruik makende van het algemene principe van een regelaar, kan men een buisoscillator zo laten werken dat de uitgangspanning nagenoeg constant blijft. Een toepassing wordt beschreven die betrekking heeft op een installatie voor het ijken van buisvoltmeters.

Voor het opwekken van wisselspanningen met vaste of regelbare frequentie maakt men in talloze gevallen gebruik van oscillatoren die in hoofdzaak bestaan uit een electronenbuis (triode of penthode), een trillingskring (L-C-kring) en een terugkoppelelement. Een aldus opgewekte trilling kan echter fluctuaties in amplitude en in frequentie en afwijkingen van de sinusvorm vertonen, die vooral voor meet- en ijkdoeleinden ongewenst zijn.

In het onderstaande zullen wij een methode beschrijven die er in de eerste plaats op is gericht, de amplitude van de oscillatorspanning onafhankelijk te maken van storende invloeden als veranderingen in de spanningen waarmee de buis wordt gevoed, in de steilheid van de buis en in de impedantie van de L-C-kring. De buis komt daarbij te werken onder omstandigheden die tevens bevorderlijk zijn voor het constant blijven van de frequentie en voor het opwekken van een zuiver sinusvormige spanning.

Regelprincipe toegepast op een oscillator

Een methode waarop vele regelaars berusten [1]), bestaat hierin dat men de constant te houden grootheid x vergelijkt met een soortgelijke, doch constante referentiegrootheid a_{ref}, en het verschil $a_{\mathrm{ref}} - x$ zodanig op het apparaat dat x voortbrengt, laat inwerken dat $|a_{\mathrm{ref}} - x|$ wordt verkleind.

[1]) Zie bijv. H Roosdorp, Beschouwingen over het regelen van industriële processen, Philips techn. T. **12**, 225-231, 1950.

Zijn de constant te houden grootheid en de vergelijkingsgrootheid niet van dezelfde soort, dan moet men uit de eerstgenoemde een hulpgrootheid afleiden die wèl met a_{ref} gelijksoortig is. Dit nu doet zich in het onderhavige geval voor: de uitgangswisselspanning van een buisoscillator moet in amplitude (V_0) constant worden gehouden, maar als vergelijkingspanning kan men natuurlijk alleen een gelijkspanning (E_{ref}) nemen. Men kan nu, door gelijkrichting, uit de oscillatorspanning een gelijkspanning E_0 afleiden die evenredig met V_0 is; het verschil $E_{\mathrm{ref}} - E_0$ kan dan fungeren als regelspanning, dwz. het kan zodanig op de oscillator inwerken dat het verschil $|E_{\mathrm{ref}} - E_0|$, door welke oorzaak ook ontstaan, kleiner wordt. Daartoe kan de regelspanning bijv. als voorspanning in de stuurroosterketen werken, met zodanige polariteit dat het werkpunt op de buiskarakteristiek wordt verplaatst naar een gebied met grotere of kleinere steilheid, al naar gelang de spanningsamplitude V_0 te klein resp. te groot was.

Invloed van de buisinstelling

Alvorens deze gedachte nader uit te werken, merken wij op dat de begrenzing van de trillingsamplitude hier tot stand komt door de werking van de regelaar, en niet — zoals het geval is bij de gebruikelijke L-C-oscillatoren met roostercondensator en lekweerstand — door het vloeien van roosterstroom. Deze laatste veroorzaakt aan het stuurrooster een zodanige negatieve voorspanning dat de buis

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gedurende een deel van de periode stroomloos is (instelling klasse C) en de effectieve steilheid afneemt. De anodestroom wordt daarbij impulsvormig en bevat derhalve sterke harmonischen; deze treden, zij het in mindere mate, ook op in de kringspanning.

Door het gebruik van een regelaar echter kan men er voor zorgen dat de buis blijft werken in klasse A, waarbij slechts een klein, nagenoeg recht gedeelte van de i_a-v_g-karakteristiek wordt doorlopen, zodat de vervorming van de kringspanning veel geringer is.

Dit laatste is niet alleen van belang indien men prijs stelt op een sinusvormige uitgangspanning, maar ook omdat vervorming een der oorzaken van frequentievariaties is. Zoals Horton reeds heeft aangetoond [2]), ontstaat als gevolg van vervorming een fazeverschuiving in de spanning die via de terugkoppeling naar het rooster wordt teruggevoerd, zodat de frequentie f waarvoor aan de oscillatievoorwaarde wordt voldaan, niet meer de resonantiefrequentie f_0 van de L-C-kring is. Het verschil tussen f en f_0 neemt toe naarmate de vervorming groter wordt en zal dus niet constant zijn bij fluctuaties in de voedingspanningen, bij het warm worden en, op de lange duur, bij het ouder worden van de buis.

Een andere oorzaak van frequentieverloop kan gelegen zijn in het bekende feit dat de electrodencapaciteiten van een buis — in het bijzonder de capaciteit tussen het stuurrooster en de kathode — afhangen van de ruimtelading. In de te bespreken schakeling houdt de regelaar bij netspanningsvariaties en bij ouder worden van de buis de door de buis lopende gelijkstroom, en daarmee de ruimtelading, bij benadering constant, zodat de invloed van deze bron van frequentievariaties wordt verzwakt.

Nadere uitwerking van de regelschakeling

Het begrenzen van de amplitude zodanig dat de oscillator blijft werken in klasse A, kan geschieden op verschillende manieren. Eén bekende methode maakt gebruik van een gloeilampje [3]) (of een andere van de temperatuur afhankelijke weerstand) in één tak van een brug van Wheatstone, welke brug derhalve slechts bij één waarde van de ingangspanning in evenwicht kan zijn.

Een andere methode is aangegeven door Arguimbau [4]). Deze gebruikt een afzonderlijke gelijkrichter, die uit een met de oscillatorspanning evenredige wisselspanning een gelijkspanning maakt, welke als voorspanning in de stuurroosterkring dienst doet.

Aanknopende bij de boven gegeven uiteenzetting van het regelprincipe, kunnen we onze methode [5]) beschrijven als een waarin niet twee spanningen met elkaar worden vergeleken, maar twee stromen. Evenals Arguimbau, gebruiken we een hulpgelijkrichter; deze bestaat uit een diode D_1 en een scheidingscondensator C_a (*fig. 1a*), die in serie tussen de

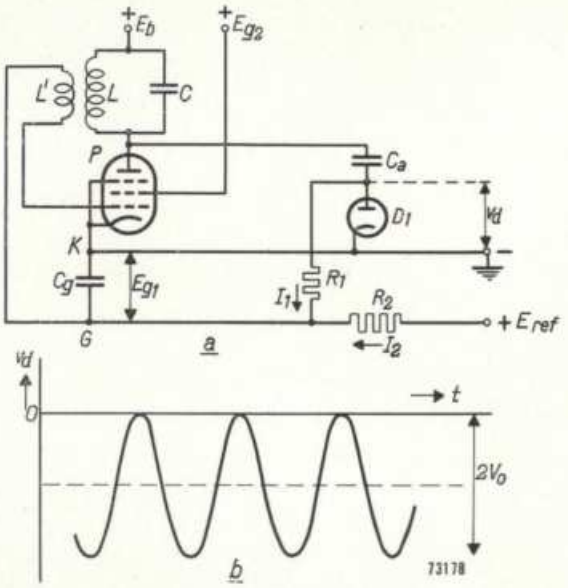


Fig. 1. *a*) Schakeling voor het automatisch constant houden van de spanning van een oscillator. *P* penthode. *L*-*C* oscillatorkring. *L'* terugkoppelspoel. C_a scheidingscondensator en D_1 diode, die de anodewisselspanning gelijkrichten tot een pulserende spanning v_d (in *b* voorgesteld als functie van de tijd *t*). E_{ref} referentiespanning. C_g roostercondensator.

kathode en de anode van de oscillerende penthode P zijn aangesloten. Daardoor komt over de diode, met de anode negatief ten opzichte van de kathode, een pulserende spanning v_d te staan (fig. 1*b*), waarvan de amplitude $2V_0$ is en de gemiddelde waarde $E_0 = -V_0$. Tussen de punten G en K (fig. 1*a*) van de roosterketen is een condensator C_g opgenomen; G is over een weerstand R_1 verbonden met de anode van de diode, en over een weerstand R_2 met een punt van positieve spanning, de referentiespanning E_{ref}. Door deze weerstanden lopen stromen I_1 resp. I_2, en bij verwaarloosbare roosterstroom geldt:

$$I_1 + I_2 = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

[2]) J. W. Horton, Vacuum tube oscillators. A graphical method of analysis, Bell. Syst. techn. J. **3**, 509-524, 1924.
[3]) L. A. Meacham, The bridge-stabilized oscillator, Proc. Inst. Rad. Engrs. **26**, 1278-1294, 1938.
[4]) L. B. Arguimbau, An oscilllator having a linear operating characteristic, Proc. Inst. Rad. Engrs. **21**, 14-28, 1933.
[5]) Deze vertoont veel overeenkomst met de driediodenschakeling, die in sommige radio-ontvangers wordt gebruikt voor „uitgestelde" automatische geluidsterkteregeling; zie bijv. J. Deketh, Grondslagen van de radiobuizentechniek I, blz. 339-342 (Philips Technische Bibliotheek, 1946).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Is E_{g1} de gelijkspanning over de condensator C_g, dan is $I_1 = (E_0 - E_{g1})/R_1 = -(V_0 + E_{g1})/R_1$ en $I_2 = (E_{ref} - E_{g1})/R_2$. Substitueert men deze waarden in (1), dan volgt daaruit:

$$V_0 = \frac{R_1}{R_2} E_{ref} - \frac{R_1 + R_2}{R_2} E_{g1} . \quad . \quad . \quad (2)$$

In E_{g1} — de voorspanning op het stuurrooster die nodig is om de buis, bij gegeven voedingspanningen en kringimpedantie, met de amplitude V_0 te laten oscilleren — komen o.a. de buiseigenschappen tot uitdrukking. Men kan echter de eerste term in het rechterlid van (2), in welke term E_{g1} niet voorkomt, sterk ten opzichte van de tweede laten overwegen, bijv. door E_{ref} hoog te kiezen ten opzichte van E_{g1}; in eerste benadering is dan

$$V_0 = \frac{R_1}{R_2} E_{ref},$$

dwz. de amplitude van de uitgangspanning hangt in eerste benadering alleen af van de verhouding van twee vaste weerstanden en van één gelijkspanning, en dus niet van de buiseigenschappen en van de kringimpedantie. Voor een nauwkeuriger analyse is het echter nodig, ook de invloed van de laatstgenoemde grootheden in aanmerking te nemen.

De stabilisatiefactor

De anodegelijkspanning, de schermroosterspanning en de gloeispanning waarmee de penthode wordt gevoed, alsmede de vergelijkingspanning E_{ref} worden in de regel betrokken uit een wisselstroomnet, en vertonen derhalve, indien men hiertegen niet bepaalde maatregelen heeft genomen, dezelfde relatieve schommelingen als de netspanning.

Het spreekt van zelf dat men, om V_0 constant te houden, in ieder geval E_{ref} zorgvuldig moet stabiliseren, bijv. met behulp van een of meer stabiliseerbuizen. Uit fig. 1*a* blijkt, dat men zonder bezwaar de schermroosterspanning kan betrekken uit dezelfde spanningsbron; over een eventuele invloed van schommelingen in de schermroosterspanning behoeft men zich dan geen zorg meer te maken.

De gelijkspanning in de anodeketen komt er niet nauwkeurig op aan; de eigenschappen van een penthode zijn in voldoende mate onafhankelijk van deze spanning. Schommelingen in de gloeispanning echter uiten zich als veranderingen in de steilheid; zij kunnen dus tegelijk worden beschouwd met steilheidsveranderingen door andere oorzaken.

Tot slot moeten we dan nog nagaan de invloed van veranderingen in de impedantie in de anodeketen.

Verandert de steilheid S met een bedrag ΔS (door verandering van de gloeistroom, of door ouder worden van de buis), dan wordt de oorspronkelijke waarde terugverkregen door E_{g1} te veranderen met een bedrag

$$\Delta E_{g1} = -\frac{\partial E_{g1}}{\partial S} \Delta S,$$

waarin $\partial E_{g1}/\partial S$ kan worden bepaald uit de karakteristiek $S = f(E_{g1})$. Uit verg. (2) volgt:

$$\Delta V_0 = -\frac{R_1 + R_2}{R_2} \Delta E_{g1} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{\partial E_{g1}}{\partial S} \Delta S.$$

Voor de verhouding van de relatieve verandering van de steilheid tot die van de amplitude — de stabilisatiefactor voor steilheidsveranderingen — vinden we nu:

$$a_S = \frac{\Delta S/S}{\Delta V_0/V_0} = \frac{V_0}{S} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{\partial S}{\partial E_{g1}} . \quad (3)$$

De wisselspanning (amplitude V_0) over de impedantie Z in de anodeketen ontstaat door de anodewisselstroom (amplitude $I_a = V_0/Z$), die op zijn beurt het gevolg is van een wisselspanning (amplitude V_{g1}) op het stuurrooster: $I_a = SV_{g1}$. Deze roosterwisselspanning, die te danken is aan de terugkoppeling, moge een fractie t van de anodewisselspanning bedragen: $V_{g1} = tV_0$. Om het oscilleren aan de gang te doen blijven, moet zijn voldaan aan de bekende oscillatievoorwaarde:

$$SZt = -1, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

die tot uitdrukking brengt dat bij rondgang door de oscillator de totale versterking juist 1 moet zijn.

De impedantie Z is bij oscillatoren met instelbare frequentie variabel; bovendien verandert ze bij wijziging van de belasting van de oscillator, en ook kan ze variëren door toevallige oorzaken, bijv. door toenemen van de verliezen als gevolg van het binnendringen van stof en vocht. We zien uit (4) dat veranderingen van Z bij constante t worden gecompenseerd door even grote relatieve veranderingen van S. Derhalve is de stabilisatiefactor voor impedantieveranderingen,

$$a_Z = \frac{\Delta Z/Z}{\Delta V_0/V_0},$$

gelijk aan de in (3) gevonden waarde van a_S.

Volledigheidshalve beschouwen we ook nog het geval van een niet-gestabiliseerde schermroosterspanning.

Uit (2) volgt, dat een verandering ΔE_{g1} van de voorspanning op het stuurrooster de amplitude V_0 doet veranderen met een bedrag ΔV_0 ter grootte van

$$\Delta V_0 = -\frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \Delta E_{g1}.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Voor een penthode geldt, dat, bij constante anodestroom, een verandering ΔE_{g2} in de schermroosterspanning wordt gecompenseerd door een verandering $\Delta E_{g1} = -\Delta E_{g2}/\mu_{g2g1}$ in de stuurroosterspanning; μ_{g2g1} is een factor groter dan 1 (bijv. 18 bij de penthode EBF 80).

Men zou kunnen menen dat verandering van de schermroosterspanning invloed heeft op de steilheid. Dit is bij een penthode echter nagenoeg niet het geval: de karakteristieken van de anodestroom als functie van E_{g1}, met E_{g2} als parameter, lopen zo goed als evenwijdig, zodat de steilheid die voor het oscilleren is vereist, wordt bereikt bij een bepaalde waarde van de anodestroom, die nagenoeg onafhankelijk van E_{g2} is.

De zg. regelfactor $\Delta E_{g2}/\Delta V_0$ wordt dus

$$\frac{\Delta E_{g2}}{\Delta V_0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\,\mu_{g2g1}.$$

Voor de verhouding van de relatieve veranderingen, de stabilisatiefactor voor veranderingen in de schermroosterspanning, vinden we:

$$a_{Eg2} = \frac{\Delta E_{g2}/E_{g2}}{\Delta V_0/V_0} = \frac{V_0}{E_{g2}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}\,\mu_{g2g1}.$$

Getallenvoorbeeld

In overeenstemming met een straks te bespreken schakeling, kiezen we als buis de penthode EBF 80. V_0 zij bijv. 40 V en $Z = 30$ kΩ; I_a is dan 1,33 mA. Met t bijv. $= {}^1/_{20}$ moet $V_{g1} = 2$ V zijn, en de vereiste steilheid is $S = {}^{1,33}/_2$ mA/V $= 0{,}67$ mA/V.

Houden we de schermroosterspanning constant op een waarde van 85 V, dan wordt volgens de gegevens van de buis de steilheid van 0,67 mA/V verkregen bij een voorspanning $E_{g1} = -4$ V en bedraagt bij deze instelling $\partial S/\partial E_{g1} = 0{,}6$ mA/V².

Kiezen we als referentiespanning eveneens 85 V, en $R_1 = 1$ MΩ, dan volgt uit (2) voor R_2 een waarde van 2,5 MΩ.

De stabilisatiefactor voor steilheids- en impedantieveranderingen wordt nu, volgens (3):

$$|a_S| = |a_Z| = \frac{40}{0{,}67 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{2{,}5}{1 + 2{,}5} \cdot 0{,}6 \cdot 10^{-3} = 26.$$

In dit voorbeeld zijn de relatieve variaties in de wisselspanningsamplitude dus ${}^1/_{26}$ van de relatieve steilheids- of impedantievariaties. Deze belangrijke winst verkrijgt men met behulp van slechts enkele extra-schakelelementen. Aanzienlijk grotere waarden van de stabilisatiefactor kunnen worden bereikt door tussen de trillingskring en de regelinrichting een versterker te plaatsen; aanstonds zullen we daarvan een voorbeeld zien.

Opgemerkt zij nog, dat men bij een traditionele *L-C*-oscillator weliswaar een zekere mate van stabilisatie verkrijgt door de voedingspanningen (inclusief de gloeispanning) te stabiliseren, maar dat men dan nog niet gedekt is tegen steilheidsveranderingen door ouder worden van de buis en tegen impedantieveranderingen van de kring. Met de beschreven regelschakeling daarentegen vangt men ook deze invloeden.

Bovendien zorgt de regeling er voor dat de buis steeds in klasse A blijft werken. Dit heeft het boven vermelde voordeel van zeer geringe vervorming in de kringspanning en, bij netspanningsfluctuaties of ouder worden van de buis, het voordeel van constantheid der buiscapaciteiten, daar de anodestroom dan constant blijft.

Instellen en moduleren van de wisselspanningsamplitude

Maken we de referentiespanning E_{ref} regelbaar, dan hebben we daarin een eenvoudig middel om V_0 te variëren, resp. op een bepaalde waarde in te stellen. De grafiek die volgens verg. (2) V_0 als functie van E_{ref} in beeld brengt, is weergegeven in *fig. 2*.

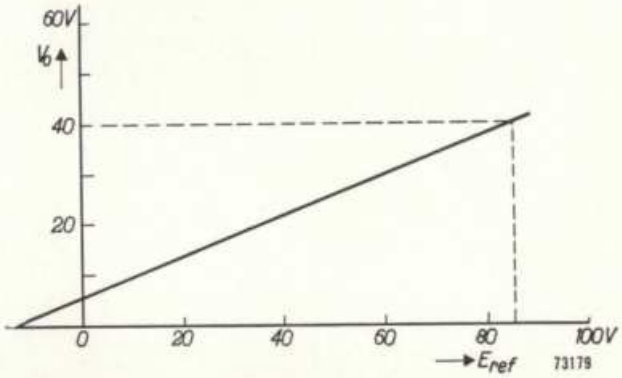


Fig. 2. Grafische voorstelling van verg. (2): amplitude V_0 van de wisselspanning als functie van de referentiespanning E_{ref} voor $R_1 = 1$ MΩ, $R_2 = 2{,}5$ MΩ en $E_{g1} = -4$ V.

Laten we E_{ref} om een bepaalde waarde schommelen, dan wordt de uitgangspanning in amplitude gemoduleerd. Hiervan kan gebruik worden gemaakt indien men wil werken met een gemoduleerde uitgangspanning. Zolang er nog geen roosterstroom loopt, stelt fig. 2 tevens de modulatiekarakteristiek voor. Indien er wèl roosterstroom vloeit, is niet meer voldaan aan verg. (1); de modulatiekarakteristiek krijgt dan een kleinere helling en vertoont dus een knik (*fig. 3*). Het vloeien van roosterstroom bepaalt derhalve de grootste modulatiediepte waarbij geen vervorming optreedt.

Het opnemen van de modulatiekarakteristiek (of het op een oscilloscoop zichtbaar maken van de uitgangspanning) en het nagaan of de bovenbedoelde knik optreedt, is de eenvoudigste methode om te constateren of er roosterstroom loopt. De meer gebruikelijke manier: het plaatsen van een voltmeter parallel met de roosterweerstand, zou de parasitaire capaciteiten zodanig vergroten dat, om te blijven voldoen aan de oscillatievoorwaarde, de rustinstelling van de buis aanmerkelijk zou veranderen, zodat men zou meten onder sterk gewijzigde omstandigheden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

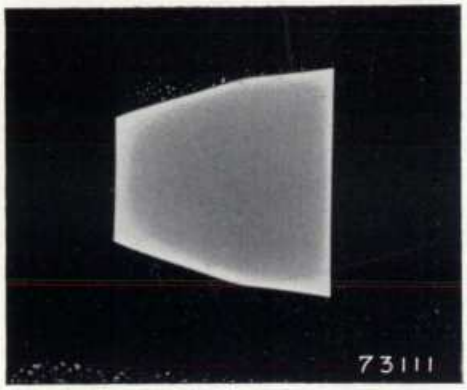


Fig. 3. Oscillogram van de wisselspanning van een oscillator volgens fig. 1*a*, die gemoduleerd wordt met een sinusvormige spanning. De spanning voor de horizontale afbuiging is eveneens sinusvormig en in faze met de modulerende spanning. Voor het maken van dit oscillogram is de buis zo ingesteld dat roosterstroom optreedt, wat een knik in de omhullende tot gevolg heeft.

Ook aan de modulatiefrequentie wordt een bovenste grens gesteld, en wel door de neiging tot overoscilleren.

Overoscilleren en aanlopen

De grootte van de capaciteiten C_g en C_a (fig. 1*a*) beheerst grotendeels de werking van de oscillator. De condensator C_g in de roosterkring bijv. vormt met de capaciteit tussen stuurrooster en aarde een spanningsdeler; is C_g te klein, dan gaat een te groot gedeelte der in de terugkoppelspoel geïnduceerde spanning in C_g verloren. C_g mag echter ook niet te groot zijn — en dit geldt ook voor C_a —, aangezien dan de regelspanning zo traag wordt gevormd dat er kans bestaat op overoscilleren: het normale oscilleren wordt dan periodiek onderbroken met een frequentie f_{rel}, die afhangt van een relaxatietijd.

Het gevaar van overoscilleren kan worden onderzocht door de oscillator op de boven beschreven wijze te moduleren met een wisselspanning van constante amplitude en regelbare frequentie, en de gemoduleerde uitgangspanning op een oscilloscoop zichtbaar te maken. Komt de modulatiefrequentie in de buurt van f_{rel}, dan constateert men een dieper worden van de modulatie. Dit stelt een bovengrens aan de modulatiefrequentie. Ook kan men een modulerende spanning met rechthoekige krommevorm gebruiken; men kan dan de neiging tot overoscilleren beoordelen naar de demping van de trillingen die zich in de omhullende van de gemoduleerde uitgangspanning voordoen (*fig. 4*).

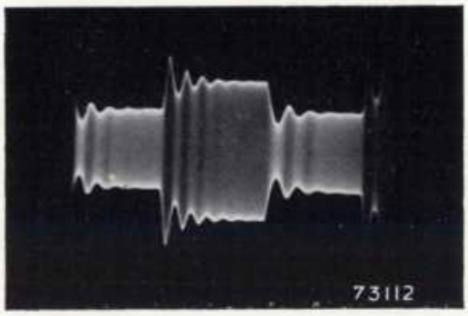


Fig. 4. Oscillogram van de kringspanning van een oscillator volgens fig. 1*a*, gemoduleerd met een kanteelspanning. De neiging tot overoscilleren kan worden beoordeeld naar de demping van de trillingen die in de omhullende van de kringspanning aanwezig zijn.

Heeft men C_g en C_a zo gekozen dat de oscillator (geschakeld volgens fig. 1*a*) kan oscilleren zonder neiging tot overoscilleren, dan blijkt hij bij het inschakelen moeilijk aan de gang te komen. De oorzaak hiervan is het volgende. Direct na het in-

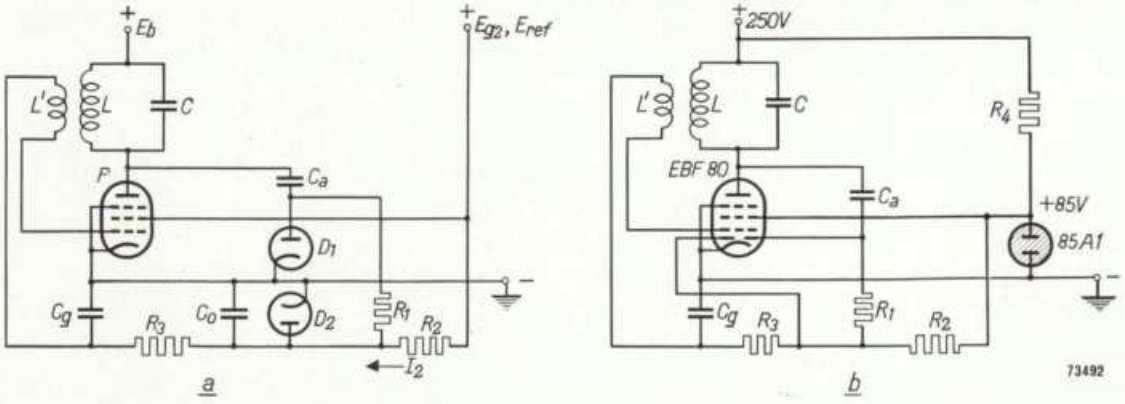


Fig. 5. *a*) Als fig. 1*a*, doch met toevoeging van een diode D_2 en een weerstand R_3, die voorkomen dat direct na het inschakelen de stroom I_2 zijn weg over het stuurrooster neemt, wat het op gang komen van de oscillator zou belemmeren. C_0 afvlakcondensator. Betekenis van de overige letters als in fig. 1*a*. *b*) Practische uitvoering van het schema (*a*), met een buis EBF 80, waarin de penthode P en de diodes D_1 en D_2 zijn verenigd. De referentiespanning, tevens schermroosterspanning, wordt constant gehouden door een stabiliseerbuis 85 A1, met de voorschakelweerstand R_4.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

schakelen oscilleert de buis zeker nog niet op volle sterkte en kan de anodewisselspanning nog worden verwaarloosd; de stroom I_2, afkomstig van de referentiespanningsbron, loopt nu voor een klein gedeelte door de weerstand R_1 en de diode D_1, maar voor het grootste gedeelte door de terugkoppelspoel en verder als roosterstroom door de penthode. Dit laatste maakt, dat de weg stuurrooster-kathode een differentiële weerstand heeft die veel kleiner is dan de impedantie van C_g; van de wisselspanning die bij het aanlopen van de trilling in de terugkoppelspoel wordt geïnduceerd, komt er dus maar een klein gedeelte op het stuurrooster terecht, en dit heeft bovendien niet de juiste faze. Bij gevolg komt het oscilleren niet op gang.

Om dit beletsel voor het aanlopen uit de weg te ruimen, moet men er voor zorgen dat I_2 niet als roosterstroom kan lopen. Daartoe kan men een diode D_2 aanbrengen (*fig. 5a*) die aan I_2 een gemakkelijke weg biedt, en een weerstand R_3 die de weg over het stuurrooster bemoeilijkt.

Fig. 5*b* laat zien hoe men kan volstaan met één buis die een penthodesysteem en twee diodesystemen bevat; zo'n buis is de meergenoemde EBF 80. De vergelijkingspanning en de schermroosterspanning worden op 85 V gestabiliseerd door één buis 85 A1 [6]). Overwogen wordt, een schakeling als deze laatste te gaan toepassen in verschillende meetapparaten die Philips in de handel brengt.

Inrichting voor het ijken van buisvoltmeters

Een object waarin het constant houden van een oscillatorspanning al toepassing heeft gevonden, is een installatie voor het ijken van buisvoltmeters.

In *fig. 6* is deze inrichting, voor het ijken van millivoltmeters type GM 6016, afgebeeld. De meter GM 6016 is bestemd voor frequenties van 1000 Hz tot 30 MHz. De spanning die op de ingang nodig is om de meter de volle uitslag te geven, bedraagt bij de grootste gevoeligheid 3 mV [7]); door middel van een capacitieve verzwakker kan deze spanning in stappen worden verhoogd tot 1000 V.

Een soortgelijke inrichting is in gebruik voor het ijken van millivoltmeters type GM 6005; dit is een meter voor frequenties van 20 Hz tot 1 MHz, die volle uitslag geeft bij spanningen van 10 mV tot 300 V. Wij spreken hier verder alleen over de ijkinrichting voor type GM 6016.

[6]) T. Jurriaanse, Een spanningsstabiliseerbuis voor zeer constante spanning, Philips techn. T. **8**, 273-278, 1946.

[7]) Alleen in gevoeligheid verschilt de GM 6016 van de vroeger beschreven meter GM 6006, die al bij 1 mV volle uitslag geeft (H. J. Lindenhovius, G. Arbelet en J. C. van der Breggen, Philips techn. T. **11**, 210-218, 1949).

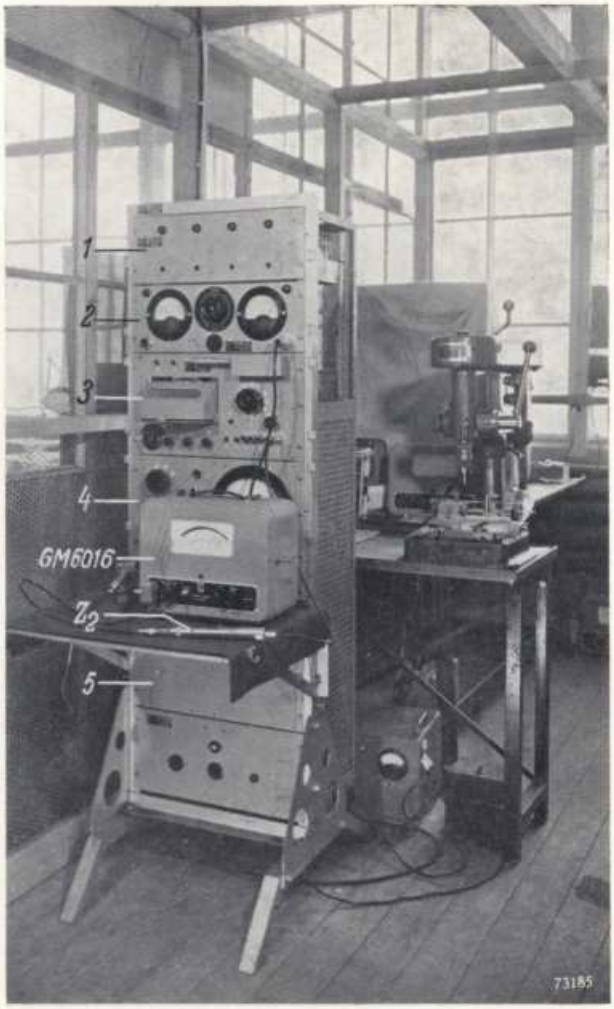


Fig. 6. IJkinrichting voor de electronische millivoltmeter type GM 6016. *1* paneel met vier gestabiliseerde voedingsgelijkrichters. *2* paneel voor het instellen van de voedingspanning (50 Hz) voor de te ijken meter. *3* paneel met ijkspanningen van 3 mV tot 300 V, 100 kHz, voor het ijken van de meter GM 6016 en de bijbehorende verzwakker (Z_2). *4* paneel voor het controleren van de frequentiekarakteristiek. *5* paneel met twaalf oscillatoren (frequenties 1 kHz tot 30 MHz), met automatisch constant gehouden uitgangspanning. Rechts de boormachine, voor het boren van de arrêteergaatjes in de verzwakker die men heeft geijkt.

Met de bedoelde installatie kunnen twee contrôles worden verricht:

1) absolute ijking van de meter en tevens contrôle van de verzwakker, en
2) contrôle van de frequentiekarakteristiek.

Met het oog op de eerstgenoemde ijking is in paneel *3* (fig. 6) aangebracht een oscillator O_0 voor 100 kHz (*fig. 7*); deze is aangesloten op een versterker A_0, die een spanning met een effectieve waarde van 300 V levert. Deze spanning wordt constant gehouden door een regelinrichting R als boven beschreven; de onderdelen C_a, D_1, C_g, R_1 en R_2 corresponderen met de gelijknamige in fig. 1*a*. Het enige verschil met vroeger is de aanwezigheid van de versterker, hetgeen niets verandert aan het principe,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

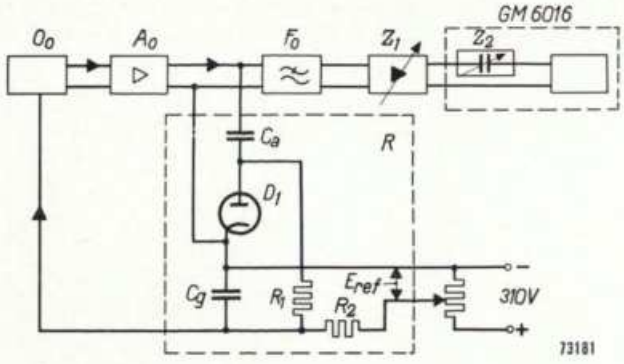


Fig. 7. Principeschema voor het ijken van de meter GM 6016 en zijn verzwakker Z_2. O_0 oscillator met frequentie 100 kHz. A_0 versterker. R, met de onderdelen C_a, D_1, C_g, R_1 en R_2: inrichting tot het vormen van een regelspanning (vgl. fig. 1*a*), die de uitgangspanning van A_0 constant houdt. De referentiespanning E_{ref} is regelbaar. F_0 laag doorlatend filter. Z_1 in geijkte stappen regelbare verzwakker.

maar, zoals al werd opgemerkt, de stabilisatiefactor ten goede komt. De referentiespanning E_{ref} wordt via een potentiometer ontleend aan een gestabiliseerde gelijkspanning van 310 V.

Paneel 5 (fig. 6) bevat twaalf oscillatoren, voor de frequenties 1, 5, 100 en 1000 kHz en 1, 3, 10, 15, 18, 20, 25 en 30 MHz [8]), ter contrôle van de frequentiekarakteristiek. De kringspanning van deze oscillatoren wordt constant gehouden op 30 V (effectieve waarde), eveneens volgens het besproken regelprincipe.

Absolute ijking en contrôle van de verzwakker bij 100 kHz

Hoewel het eigenlijk buiten het kader van dit artikel valt, wordt in het onderstaande in het kort de gang van de ijking geschetst.

[8]) Waarom er twee oscillatoren voor 1000 kHz (= 1 MHz) aanwezig zijn, wordt later verklaard.

Tot de ijkinrichting behoort een verzwakker Z_1 (fig. 7); gevoed met 300 V, 100 kHz, levert deze op een reeks van stekerbussen de ijkspanningen 300, 100, 30 en 10 V, en door middel van een schakelaar kunnen verder nog worden verkregen de spanningen 3 en 1 V en 300, 100, 30, 10 en 3 mV.

Eerst zet men de ijkspanning van 3 mV rechtstreeks op de klemmen van de te controleren meter GM 6016 en corrigeert men deze zodanig dat hij de juiste uitslag geeft. Vervolgens gaat men over op de hogere ijkspanningen, met tussenschakeling van de bij de meter behorende capacitieve verzwakker (Z_2, fig. 7). Deze verzwakker, die continu regelbaar is, wordt telkens zo ingesteld dat de meter de juiste aanwijzing geeft; bij deze standen worden gaatjes geboord, zodat een stalen kogeltje, wanneer dit door een veer in het gaatje wordt gedrukt, de verzwakker arrêteert.

De vraag is echter, hoe men er van verzekerd is dat de hoogfrequente wisselspanning op de ingang van Z_1 precies 300 V is. Dit nu wordt gecontroleerd met behulp van gelijkspanning, door vergelijking met de spanning van een normaalelement. Daartoe wordt te werk gegaan als volgt.

De ingang van Z_1 wordt afgeschakeld van de versterker A_0 en aangesloten op een bron van regelbare gelijkspanning $E \approx 300$ V (*fig. 8*). Om E nauwkeurig 300 V te maken, zou men zich natuurlijk kunnen bedienen van een draaispoelvoltmeter, maar een grotere nauwkeurigheid is te bereiken door in een compensatieschakeling een bepaalde fractie van E te vergelijken met de spanning van een normaalelement. Daartoe wordt parallel met de gelijkspanningsbron een potentiometer geschakeld, die bestaat uit de in eerste benadering vaste weerstanden R_{p1} en R_{p2} (fig. 8). De verhouding van deze weerstanden is zo gekozen dat de spanning over R_{p2} gelijk is aan die van het normaalelement N, indien E juist 300 V is. Om $E = 300$ V te maken, wijzigt men nu E tot de uitslag van de galvanometer G_1 nul is geworden.

Daar de spanning van een normaalelement enigszins afhangt van de temperatuur, moet de verhouding $R_{p1} : R_{p2}$ in geringe mate regelbaar zijn; daarvoor dient de kleine correctiepotentiometer R_{corr}. Deze potentiometer is voorzien van een temperatuurschaal; hij wordt ingesteld op de temperatuur die men afleest op de thermometer welke is aangebracht in

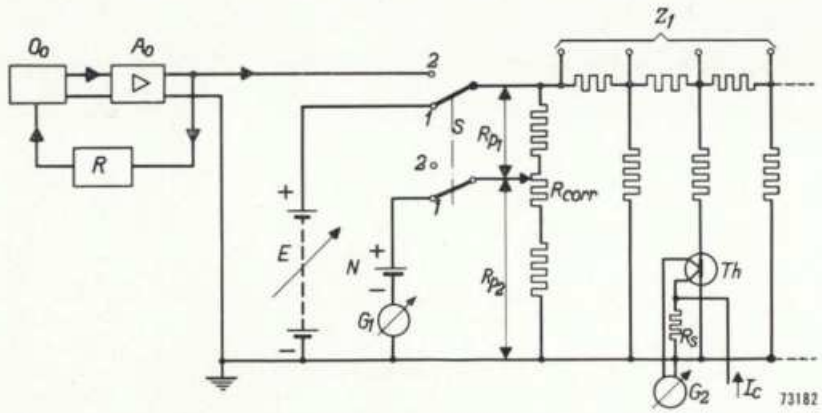


Fig. 8. Inrichting om de wisselspanning van 100 kHz op de ingangsklemmen van de verzwakker Z_1 nauwkeurig in te stellen op 300 V.

Schakelaar S in stand *1*: Nadat de correctiepotentiometer R_{corr} is ingesteld overeenkomstig de temperatuur van het normaalelement N, wordt de gelijkspanning E zo geregeld dat de uitslag van de galvanometer G_1 nul wordt; E is dan precies 300 V. De uitslag van de galvanometer G_2, die is aangesloten op vier in serie geschakelde thermokoppels Th (waarvan er maar één is getekend), wordt nul gemaakt met behulp van de stroom I_c, die door de weerstand R_s loopt.

Schakelaar S in stand *2*: De referentiespanning E_{ref} van de oscillator-versterker O_0-A_0-R (vgl. fig. 7) wordt zo ingesteld dat G_2 weer op nul komt, bij dezelfde waarde van I_c als zoëven. De effectieve waarde van de spanning op de ingang van Z_1 is dan precies 300 V.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het kastje van het normaalelement (Philips type GM 4569, *fig. 9*).

Wanneer aldus een gelijkspanning van precies 300 V op de ingang van de verzwakker Z_1 is verkregen, loopt door elk van de weerstanden van Z_1 een bepaalde stroom. Eén van deze stromen wordt in relatieve maat gemeten door middel van vier in serie geschakelde thermokoppels *Th* (vier, om de gevoeligheid te vergroten) en een galvanometer G_2 (fig. 8). Ook dit gebeurt volgens een nulmethode. In de galvanometerkring bevindt zich namelijk een weerstand R_s, waar een regelbare hulpgelijkstroom I_c doorheen wordt gestuurd. Men stelt deze stroom zo in dat de uitslag van de galvanometer G_2 nul wordt, dwz. dat de spanning over R_s de uitgangspanning van de thermokoppels juist compenseert; I_c is dan een maat voor de stroom die door de verwarmingsdraad van de thermokoppels loopt. Nu wordt Z_1 van de gelijkspanningsbron overgeschakeld op de versterker A_0, die een wisselspanning van 100 kHz levert, en de referentiespanning E_{ref} wordt bijgeregeld tot de galvanometer G_2 opnieuw geen uitslag meer geeft. Dan heeft de wisselspanning op de ingang van Z_1 een effectieve waarde van precies 300 V (0,1% verschil doet G_2 al 15 schaaldelen uitslaan) en op de uitgangsklemmen van Z_1 staan de ijkspanningen 300 V, 100 V, 30 V, ... 3 mV ter beschikking. In de verzwakker Z_1 zijn correcties voor parasitaire capaciteiten aangebracht, zodat de verzwakking bij een wisselspanning van 100 kHz dezelfde is als bij gelijkspanning.

De uitslag van de meter GM 6016 hangt af van de vormfactor der ingangspanning; de meter is echter geijkt in effectieve waarde. De ijking is alleen juist voor sinusvormige spanningen. Ofschoon de uitgangspanning van de versterker A_0 slechts weinig vervorming vertoont, is een eenvoudig laag doorlatend filter F_0 achter deze versterker geplaatst; hierdoor wordt de vervorming van de spanning op de meter GM 6016 kleiner dan 0,1 % gehouden.

Contrôle van de frequentiekarakteristiek

Van elk der twaalf oscillatoren van paneel 5 wordt via een koppelspoel een spanning van 300 mV afgenomen. Deze koppelspoelen zijn door coaxiale leidingen verbonden met twee kiesschakelaars (S_1 en S_2, *fig. 10*) op paneel 4; met deze

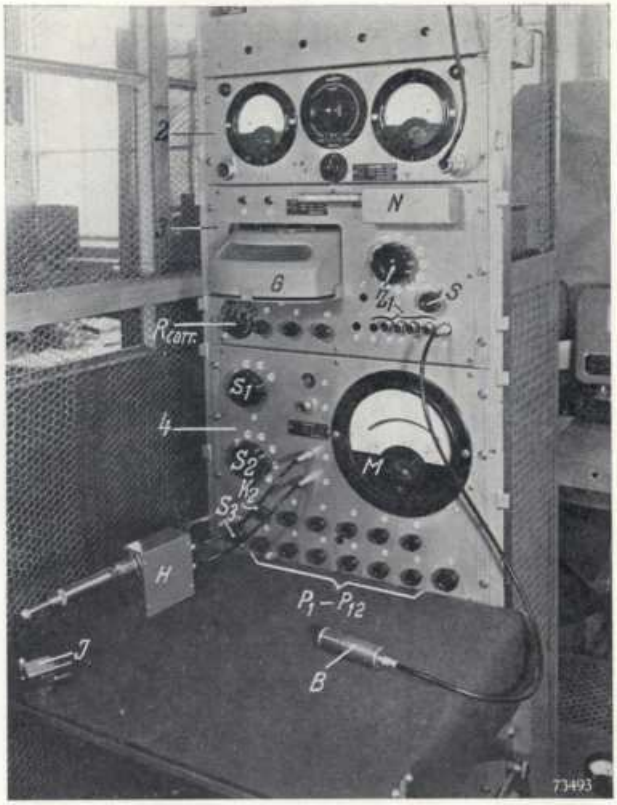


Fig. 9. De panelen *2*, *3* en *4* van dichtbij gezien.
Vgl. fig. 8: *N* normaalelement (type GM 4569) met thermometer. *G* galvanometer die naar keuze dienst doet als G_1 of als G_2. *S* schakelaar gelijkspanning-wisselspanning. Z_1 in stappen regelbare verzwakker. *B* bus waarop de verzwakker van de meter GM 6016 wordt aangesloten.
Vgl. fig. 10: S_1, S_2, S_3 schakelaars waarmee de frequentie wordt gekozen. P_1-P_{12} potentiometers voor het op de juiste waarde instellen van de oscillatorspanningen. K_2 coaxiale kabel. *H* meetkop met germaniumdiode en capacitieve spanningsdeler (Ge_2 resp. C_1-C_2 in fig. 10). De te controleren meter GM 6016 wordt aangesloten op de steker *J*. *M* meter voor het vergelijken van de oscillatorspanningen.

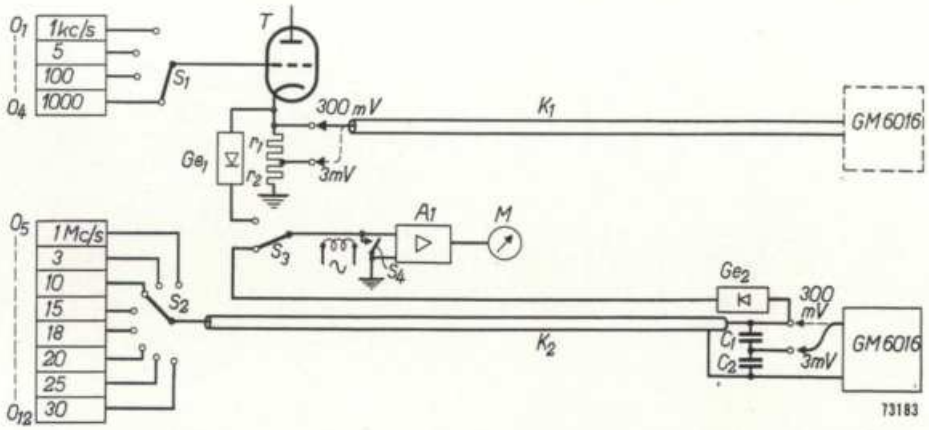


Fig. 10. Inrichting voor het controleren van de frequentiekarakteristiek van de millivoltmeter GM 6016. O_1-O_{12} oscillatoren met automatisch constant gehouden spanning, met frequenties 1 kHz tot 30 MHz. S_1 kiesschakelaar 1 - 1000 kHz. S_2 kiesschakelaar 1 - 30 MHz. S_3 kiesschakelaar (1-1000 kHz)/(1-30 MHz). *T* buis in anodebasisschakeling. r_1, r_2 en C_1, C_2 spanningsdelers, waardoor behalve 300 mV ook 3 mV beschikbaar is. K_1, K_2 coaxiale kabels. Ge_1, Ge_2 gelijkrichtschakelingen met germaniumdiode (Ge_2 uitgevoerd als meetkop). S_4 trillend contact. A_1 versterker. *M* meter.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

schakelaars kiest men een meetspanning van de frequentie 1 ... 1000 kHz resp. 1 ... 30 MHz. Bij dezelfde grootte van de meetspanningen moet de meter GM 6016 binnen zekere toleranties dezelfde uitslag geven; doet hij dit niet, dan moeten bepaalde onderdelen van de meter worden bijgesteld tot de frequentiekarakteristiek vlak genoeg is geworden (bepaalde spoelen zijn daartoe voorzien van een verschuifbare kern van Ferroxcube; zie het in noot [7]) aangehaalde artikel, blz. 213).

Elk van de twaalf oscillatoren is voorzien van een potentiometer ($P_1 \ldots P_{12}$, fig. 9) waarmee de referentiespanning, en dus de uitgangspanning, kan worden gevarieerd.

De wijze waarop wordt gecontroleerd of de meetspanningen even groot zijn, vereist nog enige toelichting. Uit de wisselspanning wordt met behulp van een germaniumdiode Ge_1 een gelijkspanning afgeleid. Een trillend contact (S_4, fig. 10) maakt hiervan een laagfrequent pulserende spanning; deze wordt versterkt door de versterker A_1 en in relatieve maat gemeten met de meter M. Bij de minder hoge frequenties (1 tot 1000 kHz), waaruit schakelaar S_1 een keuze geeft, is achter S_1 een buis in anodebasisschakeling („cathode-follower") aangebracht. Hierop is de germaniumdiode direct, en de te controleren meter GM 6016 via een coaxiale kabel aangesloten. Bij frequenties hoger dan 1 MHz echter zou een te groot verschil tussen de spanning aan het begin en die aan het eind van de kabel optreden (zie het in noot [7]) genoemde artikel, blz. 218); daarom is bij deze frequenties de germaniumdiode Ge_2 aangebracht in een meetkop, aan hetzelfde eind van de kabel waar de meter wordt aangesloten.

De frequentie 1000 kHz = 1 MHz komt zowel in de groep van de lage als in die van de hoge frequenties voor, om een goede aansluiting tussen de metingen in de twee groepen te verzekeren.

Uit de spanning van 300 mV die in elk der koppelspoelen wordt geïnduceerd, wordt door middel van een verzwakker een spanning van 3 mV afgeleid, ter contrôle van de meter zonder de erbij behorende verzwakker Z_2. Voor de frequenties van 1 tot 1000 kHz bestaat de eerstgenoemde verzwakker uit weerstanden (r_1, r_2, fig. 10), die zich in het meetrek bevinden; voor de frequenties 1 tot 30 MHz bestaat hij uit condensatoren (C_1, C_2), die in de meetkop aan het einde van de kabel K_2 zijn gemonteerd.

Samenvatting. Overeenkomstig een bekend beginsel van de regeltechniek, kan de uitgangspanning van een buisoscillator constant worden gehouden door het onderling vergelijken van twee stromen, waarvan de ene is verkregen door de uitgangspanning gelijk te richten en de andere afkomstig is van een referentiespanningsbron; uit het verschil van deze stromen wordt een regelspanning afgeleid, die als voorspanning in de roosterkring van de oscillerende buis werkt. Op deze wijze kan, met behulp van slechts enkele extra-schakelelementen, de grootte van de uitgangspanning zeer ongevoelig worden gemaakt voor netspanningschommelingen en voor veranderingen van de steilheid der buis en van de impedantie van de trillingskring. De uitgangspanning is minder vervormd dan bij een gewone L-C-oscillator.

Door de referentiespanning regelbaar te maken krijgt men de mogelijkheid, de uitgangspanning in te stellen op de gewenste grootte, en door op de referentiespanning een wisselspanning te superponeren kan men de uitgangspanning in amplitude moduleren. Ter sprake komen de bovengrens van de modulatiefrequentie en die van de modulatiediepte.

De neiging tot overoscilleren kan worden tegengegaan door bepaalde capaciteiten de juiste waarde te geven. Om de oscillator na het inschakelen vlot op gang te laten komen, moet men er voor zorgen dat de door de referentiespanningsbron geleverde stroom niet als stuurroosterstroom door de buis kan lopen; daartoe kan een hulpdiode worden aangebracht.

De buis EBF 80 bevat een penthodesysteem, dat dienst kan doen als oscilleerbuis, en twee diodesystemen, waarvan er één de constant te houden wisselspanning kan gelijkrichten en het andere kan fungeren als de zoëven genoemde hulpdiode.

Als toepassing wordt besproken een ijkinrichting voor de electronische millivoltmeter type GM 6016 (1000 Hz tot 30 MHz).

BOEKBESPREKING

Lichtberechnungen und Lichtmessungen, door H. A. E. Keitz, 433 blz., 206 figuren. — Philips Technische Bibliotheek — N.V. Meulenhoff & Co., Amsterdam 1951.

De wijze van behandelen, die de stof van dit boek voor een wijde kring van lezers toegankelijk maakt, drukt zijn stempel op het gehele werk en heeft mede de omvang ervan bepaald. De schrijver stelt voorop, zijn onderwerp zodanig uiteen te willen zetten dat het voor de lezer niet nodig is kennis te bezitten van de infinitesimaalrekening. De definities waarbij limietovergangen onvermijdelijk zijn, zoals die van lichtsterkte, luminantie (helderheid) en vele andere, worden dan ook geheel in woorden omschreven. Het boek bevat hoofdstukken waarin deze definities van lichttechnische grootheden worden gegeven en hun gevolgen worden afgeleid, en andere waarin problemen uit de practijk van de verlichtingskunde op levendige wijze worden behandeld. De voortdurende afwisseling maakt het tot een goed leesbaar geheel.

In het eerste deel gaan de hoofdstukken II en III, die op de inleiding volgen, over de begrippen ruimtehoek, lichtstroom, lichtsterkte en lichthoeveelheid. Hier worden o.a. de waarden opgegeven die de verhouding van de candela tot de drie — bij nauwkeurige beschouwing iets verschillende — internationale kaarsen bezit. Aan deze vermelding zou misschien nog kunnen worden toegevoegd, dat de verschillen in deze verhouding in hoofdzaak toe te schrijven zijn aan het feit dat de internationale kaars experimenteel is vastgelegd door visuele fotometrie van kooldraadlampen, vacuumlampen en met gas gevulde lampen.

De verdeling van het licht der lichtbronnen over de richtingen in de ruimte kan gekarakteriseerd worden door een verwarrende veelheid van verschillende diagrammen. De langdurige practijk van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de schrijver stelde hem in staat, orde te brengen in de chaos. De gekozen volgorde in hoofdstuk IV is: lichtverdelings-, Rousseau- en zonaal lichtstroomdiagram. In hoofdstuk V komen dan nog andere middelen voor de weergave van lichtverdelingen ter sprake.

Hoofdstuk VI over verlichtingsterkte bevat de belangrijke fotometrische afstandswet, hoofdstuk VII berekeningen en diagrammen van de verlichtingsterkte. In hoofdstuk VIII worden luminantie en lichtstroomdichtheid besproken, in hoofdstuk IX lichtsterkte en verlichtingsterkte bij uitgebreide (niet-puntvormige) lichtbronnen. Na de behandeling van reflectie, absorptie en transmissie in hoofdstuk X en van de lichttechnische eigenschappen van optische systemen in hoofdstuk XI, worden ter afsluiting van het eerste deel de puntjes op de i's gezet in hoofdstuk XII, getiteld: het fotometrisch maatsysteem. Aldus krijgt de lezer ten slotte een gesloten beeld van de gehele fotometrie, waarin ook het moeilijke onderwerp van de heterochrome fotometrie zijn plaats heeft gevonden.

In het tweede deel wordt na de drie inleidende hoofdstukken XIII, XIV en XV, resp. over practische, subjectieve en objectieve fotometrie, ingegaan op de meting van de in het eerste deel behandelde grootheden. Dit zijn: in de hoofdstukken XVI tot en met XX resp.: lichtsterkte; lichtstroom, lichthoeveelheid en lichtstroomdichtheid; verlichtingsterkte; luminantie; reflectie, transmissie en absorptie.

Het boek, dat thans is uitgegeven in de Duitse taal en dat binnenkort ook in de Engelse taal zal verschijnen, geeft behalve de op eenvoudige wijze behandelde theorie een schat van aan de practijk ontleende gegevens over de berekening en meting van licht. De waarde van deze gegevens wordt verhoogd doordat de keuze ervan mede werd bepaald door de meer dan twintigjarige ervaring van de schrijver.

A. A. KRUITHOF.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2009*: P. Schagen: On the image iconoscope, a television camera tube (Dissertatie, Amsterdam (Vrije Univ.) 1951, 89 blz., 40 fig.).

In een korte inleiding wordt de historische ontwikkeling van opneemsystemen voor televisie geschetst, waarna in hoofdstuk I de indeling en werkingswijze van de voornaamste opneembuizen worden besproken, met enkele direct daaruit volgende eigenschappen. Hoofdstuk II is gewijd aan een theoretische beschouwing over de beeldiconoscoop. Een vereenvoudigde beschouwing berust op bepaalde onderstellingen betreffende het gedrag van de secundaire electronen die op de trefplaat worden vrijgemaakt. Zij leidt tot uitdrukkingen voor de potentiaal van een element op de trefplaat als functie van de tijd en voor de grootte van het signaal aan de uitgang van de buis als functie van de fotostroom. In het daarop volgende hoofdstuk III worden apparatuur en meetmethode beschreven waarmee de grootte van het beeldsignaal en de secundaire-emissiecoëfficient van de trefplaat zijn gemeten. De meetresultaten worden in hoofdstuk IV vergeleken met de theoretische uitkomsten, waarna enkele conclusies worden getrokken uit de theorie betreffende de stappen die genomen kunnen worden om de buiseigenschappen te verbeteren. Deze stappen bestaan uit het vergroten van de secundaire-emissiecoëfficient van de trefplaat en uit het vergroten van de capaciteit van de trefplaat. Het experimentele resultaat bevestigt de theoretische voorspellingen. In hoofdstuk V wordt een methode aangegeven om de storende invloed van onechte signalen op de beeldkwaliteit van de beeldiconoscoop te beperken, hetgeen tevens de mogelijkheid schept voor het lijn-voor-lijn vastleggen van het zwartniveau in het beeldsignaal. Ten slotte worden in hoofdstuk VI de prestaties van de beeldiconoscoop vergeleken met die van andere buizen, wat betreft relatie tussen beeldsignaal en fotostroom, effectieve belichtingstijd, onechte signalen, eenvoud van bediening en instelling, spectrale gevoeligheid, stabiliteit, zwartniveau, variabele beeldvergroting, scherptediepte, signaal/ruisverhouding en gevoeligheid. Betoogd wordt dat de gevoeligheidsvergelijking van verschillende buizen behoort te berusten op het vergelijken van de lichtniveaus vereist voor het produceren van beelden van goede kwaliteit met overeenkomstige scherptediepte en „geruis". De conclusie wordt getrokken

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dat de Philips beeldiconoscoop geschikt is zowel voor studio-opnamen als voor alle buitenopnamen bij daglicht. Voor verlichtingsterkten beneden 1000 lux kan de beeldkwaliteit onvoldoende zijn voor omroepdoeleinden. Hieraan zou gedeeltelijk kunnen worden tegemoetgekomen door een buis te produceren met een grotere fotokathode.

2010: J. M. Stevels: La coloration du verre (Verres et Réfractaires, **5**, 197-204, 1951, No. 4).

De kleur van glazen wordt bepaald door: 1) de plaats van de dalende tak van de absorptiecurve, 2) de aanwezigheid van atomen met een specifieke absorptie, 3) de electronenovergangen tussen kationen. De plaats van de absorptiecurve wordt bepaald door de Madelung-potentiaal op de plaats van een zuurstofion. Deze potentiaal hangt zelf enerzijds af van de plaats van het zuurstofion en anderzijds van de lading van de netwerkvormende ionen. Als men ionen P^{5+}, Si^{4+}, en B^{3+} als netwerkvormers aanneemt, vindt men zes verschillende mogelijke posities van de absorptiecurve. De absorptie veroorzaakt door ionen met specifieke absorptie in het zichtbare spectrum hangt essentieel af van hun plaatsing in het netwerk (netwerkvormend of netwerkwijzigend). Electronensprongen tussen kationen (netwerkvormend of -wijzigend) compliceren het probleem. Dit verschijnsel doet zich vooral voor als eenzelfde soort ionen in verschillende valentietoestanden voorkomt. Het geval van de ionen Fe^{2+} en Fe^{3+} vormt hiervan een leerzaam voorbeeld.

2011: E. J. W. Verwey: Ver-reikende krachten in colloïd-chemische en biochemische systemen (Hand. Nat. Geneesk. Congres **32**, 4-14, 1951).

Behandeld worden de aantrekkende krachten (London-Van der Waals) en afstotende krachten (electrische dubbellaag) in colloïdale systemen (zie deze Overzichten No. **1769**) en de kwestie van de stabiliteit van colloïden. Deze beschouwingen worden op enigszins speculatieve wijze uitgebreid tot biocolloïden, waarbij naast algemene aantrekkende en afstotende krachten ook „specifieke" krachten werkzaam zijn, die veroorzaakt worden door de structuur van de deeltjes. Als voorbeeld worden genoemd de proeven van Rothen over de wisselwerking tussen antigeen en antilichaam. Ten slotte wordt een aantal verschijnselen in hydrophile colloïden besproken, die eveneens op de werking van verreikende krachten wijzen.

2012: R. van der Veen: Fluorescence and induction phenomena in photosynthesis (Physiologia plantarum **4**, 486-494, 1951, No. 3).

De fluorescentie van chlorophyl in bladeren vertoont gedurende de eerste minuten van een belichting intensiteitsvariaties (inductieverschijnselen), die veel lijken op hetgeen men bij de fotosynthese waarneemt. De invloed op de intensiteitskromme (adaptatielijn) van de voorafgaande donkerperiode, van de temperatuur, van de intensiteit der bestraling en van de koolzuur- en zuurstofdruk werd nagegaan. Bijna altijd beantwoordt een toeneming van de fotosynthese aan een afneming van de fluorescentie en omgekeerd. De enige uitzonderingen zijn: a) in het gebied waar de fotosynthese door de temperatuur wordt begrensd, veroorzaakt een temperatuurdaling een vermindering van de fotosynthese terwijl de fluorescentie bijna niet wordt beïnvloed; b) een hoge zuurstofdruk doet zowel de fotosynthese als de fluorescentie afnemen. De proeven bevestigen in het algemeen de theorie van Katz, volgens welke de fluorescentie een maat is voor het energieverbruik der fotosynthese. Soms is er geen correlatie tussen fluorescentie en fotosynthese. In deze gevallen wordt de lichtenergie vermoedelijk wel gebruikt voor de splitsing van water, maar beletten later tegenreacties een nuttige functie hiervan voor de fotosynthese.

2013: W. de Groot: On the definition of standard illuminant A (Physica **17**, 920-922, 1951, No. 10).

In 1951 heeft de C.I.E. te Stockholm vastgesteld dat de standaardlichtbron A zal worden gekarakteriseerd door de waarde $c_2/T=5{,}0386$ ($= 14350/2848 \approx 14380/2854$), die in de stralingsformule van Planck of van Wien moet worden ingevuld. Er wordt op gewezen dat als men de standaard (op basis van de formule van Wien) zou trachten te realiseren door een zwart lichaam, waarvoor het monochromatisch (golflengte λ) uitgestraalde vermogen zich tot dat van het zwarte lichaam bij het smeltpunt van goud verhoudt als $\exp(\alpha/\lambda)$, waarin $\alpha = c_2/T_{Au} - c_2/T = c_2/T_{Au} - \beta$, een andere keuze van c_2 en van T_{Au} in het algemeen de grootheid α zou beïnvloeden, ook al hield men β constant. Bovendien zal de spectrale verdeling van deze lichtbron in het algemeen niet beantwoorden aan de berekende, zolang de gebruikte waarden van c_2 en T_{Au} afwijken van de werkelijke waarden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!